FONDO PIZZOFALCONE

17 F 48

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XVI

Palchetto 6

Num.° d' ordine 22

14 H 50

NAZIONALE
B. Prov.
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
2337
NAPOLI

Digitized by Google

B. Prem.
I
2337

Digitized by Google

Digitized by Google

ELEMENTI

DI

FISICA SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA.

TOM. IV.

Digitized by Google

108553

ELEMENTI

DI

FISICA

SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA

DEL SIG. POUILLET,

DELL' ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DELL' ISTITUTO DI FRANCIA; PROFESSORE DI FISICA NELLA FACOLTÀ DELLE SCIENZE DI PARIGI; PROFESSORE DI FISICA APPLICATA ALLE ARTI, NEL CONSERVATORIO REALE DELLE ARTI E MESTIERI, AMMINISTRATORE DI QUESTO STABILIMENTO, MEMBRO DELLA SOCIETÀ FILOMATICA, DEL CONSIGLIO DELLA SOCIETÀ D' INCORAGGIAMENTO, ECC. ECC.

OPERA ADOTTATA, DAL CONSIGLIO REALE DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE, PER L' INSEGNAMENTO DELLA FISICA NEGLI STABILIMENTI DELL' UNIVERSITÀ.

PRIMA VERSIONE ITALIANA

Sulla terza edizione del 1837

DI G. FAZZINI

CON NOTE.

Verus experientiæ ordo primo lumen accendit,
deinde per lumen iter demonstrat.
BACONE *Nov. Or.*

TOMO QUARTO.

NAPOLI

M. AVALLONE TIPOGRAFO

1841.

Digitized by Google

SECONDA PARTE

LUCE POLARIZZATA.

306

CAPITOLO PRIMO.

Doppia Rifrazione.

442. *Fenomeno generale della doppia rifrazione.* — Si dice che la luce prova la doppia rifrazione in una sostanza, quando penetrandovi, *un fascio solo* di luce incidente naturale dà origine a *due fasci rifratti.* Le sostanze, ch' esercitano questo genere di azione sopra la luce, si dicono *doppiamente rifrangenti;* tal è per esempio il carbonato di calce cristallizzato o *spato d'Islanda*, che spesso si presenta sotto la forma di un romboide allungato (*fig.* 293). Di fatto allorchè, tenendo questo romboide dinanzi all' occhio, si guarda contro lume una spilla od un obbietto delicato, se ne veggiono due immagini distinte più o meno separate tra loro, e, se il romboide si fa volgere nel suo piano, perchè compia una rivoluzione intera, le due immagini girano parimente di un' intera circonferenza. Gli stessi effetti si osservano posando il romboide sopra un foglio; di carta bianca, dove sonosi delineate delle divisioni; dando anche a queste divisioni la forma di un triangolo (*fig.* 294), siccome avea fatto Malus, se n' è tratto un mezzo semplicissimo per misurare l' allontanamento de' raggi; dappoichè notando sulla superficie superiore del cristallo (*fig.* 295) il punto *i* di emergenza del raggio, che conduce all' occhio *o* la doppia immagine del punto *a* della scala partita, chiaro è che un raggio mosso dall' occhio e diretto secondo *oi* entrando nel cristal-

lo darebbe due raggi: l'uno che va al punto *a* della prima immagine; l'altro al punto a^1 omologo della seconda immagine. Allora, conoscendo la distanza $a\ a^1$ della scala (*fig.* 294) e la sua posizione sulla seconda faccia del cristallo (*fig.* 295), se ne può dedurre l'angolo $a\ i\ a^1$. Facendo queste osservazioni con un cerchio partito verticale munito di un cannocchiale si può determinare eziandio l'angolo d'incidenza o di emergenza *o i n*, e così giungere ad una grande esattezza.

In questo romboide la luce solare si divide come quella delle nubi; dappoichè si ottengono due immagini del sole nella camera nera, mettendo il romboide sull'apertura dell'imposta, e dirigendo su di esso il fascio riflesso dallo specchio dell'eliostato.

Tutt' i cristalli, la cui primitiva forma non è nè un cubo nè un ottaedro regolare, sono birifrangenti come lo spato d'Islanda, o almeno in un modo analogo; ma la loro totalità si divide in due classi perfettamente distinte. I cristalli ad *un asse* e cristalli a *due assi*. Ecco i motivi di tal divisione:

In un cristallo dotato della *doppia* rifrazione, sonovi sempre *una* o *due direzioni*, secondo le quali *mai non si divide* un raggio di luce. Queste direzioni notevoli sono ciò che si dicono gli *assi ottici* del cristallo o semplicemente *gli assi*; esse hanno sempre una certa simmetria relativamente alle facce naturali della forma cristallina.

I cristalli, nel cui interno evvi *una direzione d'indivisibilità*, si dicono *cristalli ad un asse*.

I cristalli nel cui interno sonvi *due direzioni d'indivisibilità* diconsi cristalli *a due assi*.

Non pare che possano esistere cristalli regolari aventi più di due assi.

Ora studieremo gli uni dopo gli altri i cristalli ad *un asse* e quelli a *due*.

443. *De' cristalli ad* un asse *e della loro sezione principale.* — Eziandio la calce carbonata, ch'è un cristallo ad un asse, noi prenderemo ad esempio; la *forma primitiva* di questa sostanza è un romboide rappresentato figura 103: cioè un cristallo di calce carbona-

zata può sempre, qualunque ne sia la forma, esser riguardato come composto di un gran numero di molecole tutte aventi questa forma romboidale, e disposte paralellamente l'una accanto dell'altra. Le dimensioni assolute di queste molecole non sono determinate, solo non s'ignora che sono eccessivamente picciole. La linea *a a'*, che congiunge i vertici ottusi dell'uno di questi romboidi, è quel che dicesi il suo *asse cristallografico*. Sicchè in un cristallo qualunque evvi un'infinità di assi, perocch'evvi un'infinità di molecole; ma tutti questi assi son paralelli, poichè le molecole sono disposte paralellamente, fuorchè se i cristalli non siano *mischiati*. Adunque ei basta sempre per conoscere l'asse di un dato cristallo il determinar la posizione dell'una delle molecole primitive costituenti. Ora l'esperienza ha dimostrato questa legge generica, che sembra senza eccezione, cioè che ne' *cristalli ad un asse* l'asse di doppia rifrazione o *l'asse ottico* sempre coincide con l'asse cristallografico.

Per verificare questo risultamento sulla calce carbonata può tagliarsi una piastra, le cui due facce siano perpendicolari all'asse cristallografico *ax*, *a' x'* (*fig. 103*); e si ravvisa col fatto che mai non si divide il fascio, quando attraversa la piastra perpendicolarmente alle sue facce, cioè quando attraversa il cristallo seguendo il suo asse cristallografico *l*: ma, se il raggio si presenta obbliquamente, non penetra più secondo l'asse, ed allora si divide e fa vedere due immagini.

Si può anche tagliare un prisma di calce carbonata in modo, che l'asse cristallografico *ex* (*fig. 304*) sia contenuto nella sezione *bac* del prisma e faccia col suo lato *ab* un angolo abbastanza piccolo, perchè un certo raggio incidente *is* possa penetrare nella direzione dell'asse: allora questo raggio punto non si dividerà; e, se il prisma è acromatizzato con un altro prisma di vetro *dep*, il raggio emergente sarà semplice e senza colore come il raggio incidente. Ma altri raggi più o meno inclinati di *is* non più dovendo penetrare nella diresione *ix* dell'asse proveranno sempre un'interna divizione, e faran vedere due immagini più o men separa-

te. Sicchè, qualunque sia l'obbliquità del raggio incidente, o ch'entri per una faccia naturale o per una artifiziale, mai non prova la doppia rifrazione, quando attraversa il cristallo sequendo il suo asse.

Questa verificazione può esser fatta allo stesso modo sopra tutti gli altri cristalli ad *un* asse quando un raggio di luce non si muove seguendo l'asse del cristallo; de' due raggi, che dà, havvene sempre uno che rimane sottoposto alle due leggi generali della rifrazione, ma l'altro fa eccezione a tai leggi, cioè generalmente il suo piano di rifrazione non coincide col piano d'incidenza, ed i seni d'incidenza e di rifrazione cessano di essere in una correlazione costante. Il primo dicesi *raggio ordinario*, e *raggio straordinario* il secondo.

Non presentando il cammino del raggio ordinario veruna difficoltà, solo di quello del raggio straordinario ci dobbiamo occupare, e prima di tutto indicheremo due tagli del cristallo, ne' quali la sua direzione è notevolissima. Essi sono la *sezione principale* e la *sezione* perpendicolare all'asse.

1° *Sezione principale.* — Ne' cristalli ad un asse la *sezione principale* è il piano tirato dall'asse perpendicolarmente ad una qualsiasi faccia naturale o artificiale: sicchè la sezione principale appartiene piuttosto ad una faccia che all'intero cristallo, dappoichè ciascuna faccia ha la sua. Ora trovasi con l'esperienza che il raggio straordinario rimane come l'ordinario nel piano incidente tutte le volte, che il piano d'incidenza coincide col prolungamento della sezione principale: adunque in questo caso particolare il raggio straordinario rimane sommesso alla prima legge generica della rifrazione, e solo alla seconda fa eccezione. Ei basta per verificare tale risultamento il far volgere nel suo piano un cristallo a facce parallelle; ed il seguire il movimento dell'immagine straordinaria: vedrassi che nel cerchio da essa descritto intorno all'immagine ordinaria passa due volte nel piano d'incidenza; e che questo fenomeno accade, quando esso piano coincide con la sezione principale della faccia di entrata.

2° *Sezione perpendicolare all'asse.* — Dicesi sezione perpendicolare all'asse ogni piano concepito nell'interno del cristallo perpendicolare al suo asse. Ora, quando un raggio naturale ha siffatta sezione per piano d'incidenza, il raggio ordinario e lo straordinario, ai quali dà origine, hanno ancora tal sezione per piano di rifrazione. Sicchè in questo caso il raggio straordinario rimane anche sommesso alla prima legge di rifrazione; dippiù esso è allora sottomesso alla seconda legge, che cioè in questa sezione ed in quella soltanto i suoi seni d'incidenza e di rifrazione serbano una correlazione costante per tutte le obbliquità d'incidenza. Questa correlazione è *l'indice di rifrazione straordinaria.*

Si è di accordo in chiamare *cristalli negativi* quelli, il cui *indice ordinario* supera l'*indice straordinario;* e *cristalli positivi* quelli, il cui *indice ordinario* è più piccolo dell' *indice straordinario.* Così i cristalli ad un asse sono in due classi partiti conforme alla seguente tavola:

Tavola de' cristalli ad un asse.

NEGATIVI.

Carbonato di calce (spato d'Islanda).
Carbonato di calce e di magnesia.
Carbonato di calce e di ferro.
Tormalina.
Rubellite.
Corindon.
Zaffiro.
Rubino.
Smeraldo.
Idroclorato di calce.
Idroclorato di stronziana.
Sottofosfato di potassa.
Solfato di nickel e di rame.
Cinabro.
Mellite.
Molibdato di piombo.
Berillo.
Apatite.
Idocrasia (vesuviana).
Vernerite.
Mica (di kariat).
Fosfato di piombo.
Fosfato di piombo arseniato.
Idrato di stronziana.
Arseniato di potassa.
Ottoedrite.
Prussiato di Potassa.
Fosfato di calce.
Arseniato di piombo.
Arseniato di rame.
Nefelina.

POSITIVI.

Zircone.
Quarzo.
Solfato di potassa e di ferro.
Suracetato di rame e di calce.

Ossido di ferro.	Idrato di magnesia.
Tungstato di zinco.	Ghiaccio.
Stannite.	Iposolfato di calce.
Boracite.	Diottasi.
Apofilite.	Argento rosso.

444. *Cristalli a due assi.* — Abbiamo precedentemente veduto che il carattere de' cristalli a due assi è di offrire due direzioni e non più, secondo le quali il raggio naturale incidente può penetrare la sostanza loro senza dividersi in due altri raggi. Questi assi qui non possono essere più definiti in un modo semplice e comodo per mezzo dell'asse cristallografico; ma è chiaro che essendo conosciuti una volta i due assi per un punto di una sostanza cristallizzata, le due linee tirate paralellamente a questi assi da un altro punto qualunque saranno gli assi di quest'altro punto.

Fresnel ha scoperto con la teorica e dimostrato con l'esperienza che ne' cristalli a due assi non evvi più raggio ordinario, cioè che i due raggi nascenti dalla divisione di un raggio incidente nè l'uno nè l'altro seguono le leggi generali della rifrazione. Qui adunque il cammin della luce è anche molto più implicato, che non ne' cristalli ad un asse.

Noi intanto indicheremo due tagli, mercè i quali la quistione sarà fatta semplice.

1° *Taglio perpendicolare alla linea media.* — Immaginiano che $p\,x$ e $p\,x'$ (*fig. 298*) rappresentino due assi di un cristallo: l'angolo xpx' è l'angolo di questi assi; e la linea $p\,m$, che divide questo angolo in due parti uguali, è la *linea media* o la *linea intermedia;* il piano perpendicolare a $p\,m$ dà nel cristallo una sezione, per la quale l'*uno* de' due raggi si conforma alle leggi universali della rifrazione.

2° *Taglio perpendicolare alla linea di supplemento.* — Il piano perpendicolare alla linea $p\,s$, detta linea di supplemento (perchè divide in due uguali parti il supplemento dell' angolo degli assi (*figura 298*), determina nel cristallo una sezione, per la quale l'*altro* de' due raggi nascenti da un raggio incidente si conforma alle leggi generali della rifrazione.

Per mezzo di questi due tagli potrannosi adunque determinare gl'indici di rifrazione de'due raggi, che sono analoghi al raggio ordinario ed al raggio straordinario de'cristalli ad un asse:

Ecco la tavola de'cristalli a due assi.

Tavola dei cristalli a due assi.

Nomi delle sostanze.	Angolo degli assi.	
Solfato di nickel (alcune schegge)	3°	0'
Solfo-carbonato di piombo	»	»
Carbonato di stronziana	6	56
Carbonato di barite	»	»
Nitrato di potassa	5	20
Mica (alcune schegge)	6	0
Talco	7	24
Perla	11	28
Idrato di barite	13	18
Mica (alcune schegge)	14	0
Arragonite	18	18
Prussiato di potassa	19	24
Mica (alcune schegge)	25	0
Cimofano	27	51
Anidrite	28	7
Borace	28	42
Mica (diverse schegge esaminate dal Sig. Biot)	30	0
	31	0
	32	0
	34	0
	37	0
Apofilite	35	8
Solfato di magnesia	37	24
Solfato di barite	37	42
Spermaceto (circa)	37	40
Borace nativo	38	48
Nitrato di zinco	40	0
Stilbite	41	42
Solfato di nickel	42	4
Carbonato d'ammoniaca	43	24
Solfato di zinco	44	28
Anidrite (esaminata dal Sig. Biot)	44	41
Mica	45	0
Lepidolite	45	0
Benzoato d'ammoniaca	45	8
Solfato di soda e di magnesia	46	49
Solfato d'ammoniaca	49	42
Topazio del Brasile	49 a 50	0
Zucchero	50	0

Nome delle sostanze.	Angolo degli assi.	
Solfato di stronziana	50	0
Solfo-idroclorato di magnesia e di ferro	51	16
Solfato di magnesia e d' ammoniaca	51	22
Fosfato di soda	55	20
Comptonite	56	6
Solfato di calce	60	0
Ossinitrato di argento	62	16
Iolito	62	50
Feldspato	63	
Topazio (Aberdeeshire)	65	
Solfato di potassa	67	
Carbonato di soda	70	1
Acetato di piombo	70	25
Acido citrico	70	29
Tartrato di potassa	71	20
Acido tartrico	79	0
Tartrato di potassa e di soda	80	0
Carbonato di potassa	80	30
Cianite	81	48
Clorato di potassa	82	0
Epidoto	84	19
Idroclorato di rame	84	30
Peridot	87	56
Acido succinico	90	
Solfato di ferro	90	

445. *Leggi generali della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse e due assi.* — Se da un punto dato nell'interno di un cristallo si concepiscono delle linee disegnate in tutte le possibili direzioni, chiaro è che un raggio di luce può attraversar questo punto, passando successivamente per ciascuna di queste direzioni. In un cristallo ad un asse il raggio ordinario avrà sempre la stessa velocità, qualunque sia quella di queste vie, secondo cui si propaga, mentre il raggio straordinario avrà un' infinità di velocità diverse comprese fra due limiti determinati. In un cristallo a due assi le velocità saranno mutabili colle direzioni, sia per l'uno, sia per l'altro de' due raggi, che la doppia rifrazione sviluppa, e saranno mutabili secondo leggi diverse. Deesi ad Ugenio una costruzione geometrica elegantissima, che dà ad un tempo tutte le velocità di un raggio straordinario, e tutte le sue posizioni relative al raggio ordinario corrispondente; ma questa costruzione si applica solo ai cristalli ad

un asse. Gli effetti più intralciati di cristalli a due asse non rimanevano espressi con esattezza nè dalla legge di Ugenio, nè dalle modificazioni più o meno ingegnose, che si era tentato di darle, allorchè il genio di Fresnel giunse a colpire ad un tempo, come in un solo pensiere, la cagione della polarizzazione, quella della doppia rifrazione, e la legge generale di questi fenomeni in tutt' i cristalli. Siffatta scoverta è senza contrasto una delle più ammirabili, di cui si sia arricchita la scienza.

Per non anticipare ciò che appartiene alla polarizzazione, noi qui ci staremo contenti a dare le velocità de'due raggi nascenti dalla doppia rifrazione; queste velocità possono essere espresse traducendo la costruzione di Fresnel, ed allora prendono la seguente forma:

$$v^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\, sen.^2 \tfrac{1}{2}(a' - a),$$

$$v'^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\, sen.^2 \tfrac{1}{2}(a' + a):$$

v velocità ordinaria, v' velocità straordinaria, a angolo del raggio col primo asse, a' angolo del raggio col secondo asse; d pe'cristalli ad un asse velocità ordinaria, pe'cristalli a due assi velocità costante nella sezione perpendicolare alla linea di supplemento; d' pe'cristalli ad un asse velocità straordinaria, pe'cristalli a due assi velocità costante nella sezione perpendicolare alla linea media.

Per far meglio intendere queste formole noi le discuteremo in alcuni casi particolari.

1° *Cristalli ad un asse.* — Quando i due assi si riducono ad uno solo, gli angoli a ed a', che fa il raggio con ciascuno degli assi, si riducono parimente ad uno solo, e si ha semplicemente:

$$v^2 = d^2$$
$$v'^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\, sen.^2 a.$$

Sicchè la velocità ordinaria v è costante in tutte le direzioni e sempre uguale a d: mentre la velocità straordiria v' dipende dall'angolo a, che il raggio straordinario fa con l'asse.

Quando questo raggio è nella sezione perpendicolare all' asse; hassi $a = 90^\circ$, sen.^{2} $a = 1$; e $v' = d'$.

Sicchè la velocità straordinaria è costante.

Quando muovesi paralellamente all' asse, hassi $a = 0$, *sen.*^{2} a $= 0$, e $v' = d$.

Sicchè in questa direzione ed in quella sola la velocità straordinaria diventa uguale alla velocità ordinaria.

Questi due valori d' e d sono i due limiti della velocità straordinaria: l'uno è il suo *maximum* e l'altro è il suo *minimum*.

Nel sistema ondulatorio da noi adottato l'indice di rifrazione non è altro, che la corrispondenza *diretta* delle velocità; e, se noi rappresentiamo con 1 la velocità della luce nel voto, $\frac{1}{d'}$ sarà l'indice di rifrazione del raggio straordinario nella sezione perpendicolare all' asse, mentre $\frac{1}{d}$ sarà l'indice di rifrazione del raggio ordinario; adunque il carattere de' cristalli negativi sarà $d' > d$, e quello de' cristalli positivi $d' < d$.

Nel primo caso $d'^2 - d^2$ coefficiente di sen.^{2} a è positivo, ed il *maximum* di v' corrisponde al caso, in cui si ha sen. $a^2 = 1$ ovvero $a = 90^\circ$, mentre il *minimum* corrisponde a sen.^{2} $a = 0$ ovvero ad $a = 0$. Al contrario nel secondo caso $d'^2 - d^2$ è negativo, ed il *minimum* di v' corrisponde ad $a = 90$, ed il *maximum* ad $a = 0$.

Sempre adunque, propagandosi secondo l' asse e nella sezione perpendicolare all'asse, accade che il raggio straordinario acquista la sua minima e la sua massima velocità; ma pe' cristalli negativi il *maximum* ha luogo nella sezione, perpendicolare all'asse, ed il *minimum* nel senso dell'asse; pe' cristalli positivi è il contrario.

2° *Cristalli a due assi.* — Quando il raggio è compreso nella sezione perpendicolare alla linea di supplemento $p\ s$ (*fig. 298*), chiaro è che fa sempre due an-

goli uguali con ciascuno degli assi px e px'; in tal modo $a = a'$ e v^2 si riduce a

$$v^2 = d^2 \text{ ovvero } v = d.$$

Sicchè, siccome da noi si è detto, d è in questo caso l'espressione della velocità, e per questa ragione saranno da noi chiamate *velocità ordinarie* tutte quelle date dai diversi valori di v.

Quando al contrario il raggio si muove nella sezione perpendicolare alla linea media $p\,m$, la somma degli angoli a ed a' è sempre uguale a due angoli retti, dal che risulta:

$$v'^2 = d'^2 \text{ ovvero } v' = d'.$$

Per questo abbiamo detto che d' rappresenta la velocità del raggio in questa sezione, e noi diremo del pari *velocità straordinarie* tutte quelle date dai valori di v'.

Allorchè d' è maggiore di d il *minimum* della velocità ordinaria ha luogo per $a' = a$, o per $v = d$; ed il *maximum* ha luogo quando $a' - a$ è il più grande possibile, il che accade nel piano degli assi.

Il *minimum* diventa *maximum* e *viceversa*, quando d è maggiore di d'.

I *maximum* e *minimum* del raggio straordinario han luogo ancora per $v' = d'$, e quindi pel caso, in cui il raggio è nel piano degli assi, ma essi cangiano parimente categoria, quando d' è maggiore o minore di d.

Si può ancora osservare che in tutt' i casi la differenza dei quadrati delle velocità è espressa dalla formola:

$$v'^2 - v^2 = (d'^2 - d^2) \text{ sen. } a' \text{ sen. } a,$$

cioè che i due raggi ordinari e straordinari avendo una direzione comune, le differenze dei quadrati delle loro velocità sono proporzionali al prodotto dei seni degli angoli, che ciascuno di essi fa co' due assi. Questa osservazione era stata fatta dal Sig. Brewster e dal Signor Biot,

prima che Fresnel avesse indicato la semplice legge, che abbraccia in tutta la sua estensione il fenomeno.

446. *Diversi esperimenti di doppia rifrazione.* — Noi qui indicheremo alcune delle numerose esperienze, che possono farsi, per avvezzare lo spirito a seguire i movimenti della luce nei cristalli birifrangenti.

1° *Esperimento di Monge.* Riguardando la doppia immagine di uno oggetto *b* situato in qualche distanza al di sotto della superficie inferiore di un romboide (*fig. 299*) e conducendo su questa superficie una carta, vedesi con meraviglia che, se questa passa da sinistra a destra, l'immagine a destra è nascosta la prima, e *viceversa.* Dipende questo fenomeno dal perchè i fasci *o o'* ed *e e'*, che recano nell'occhio *p* l'impressione delle immagini ordinarie e straordinarie, s'*incrociano* nell'interno del cristallo per cagione della disuguale infrangibilità loro e della loro disuguale incidenza nella superficie d'ingresso *f f'*. Il fascio straordinario procedente da *b r r'* non giunge all'occhio, siccome non vi giunge il fascio ordinario procedente da *b x x'*.

2° *Esperimenti nel luogo apparente delle immagini.* Situando l'occhio vicinissimo alla superficie superiore di un romboide, e rimirando de'punti vicinissimi alla superficie inferiore, o di fuori come dei tratti designati sopra carta, o di dentro come macchie particolari alla massa del cristallo; si scorge che delle due immagini dello stesso punto una apparisce sensibilmente più prossima dell'altra; ed è l'immagine ordinaria, perchè, essendo lo spato d'Islanda negativo, l'indice ordinario supera l'indice straordinario.

3° *Esperimenti dei romboidi soprapposti.* Quando si soprappongono due romboidi per guardare degli oggetti attraverso della loro doppia grossezza, si osservano i fenomeni seguenti: quando le sezioni principali di questi due *romboidi* son parallele o perpendicolari, solo due immagini si veggono dell'oggetto, come se il romboide fosse solo; ma se ne veggono 4 immagini diversamente intense in tutte le altre posizioni relative delle 2 sezioni principali.

Dal che dobbiamo conchiudere che i due raggi ordinario e straordinario, i quali escono da un primo romboide hanno una proprietà, che essenzialmente li distingue da un raggio di luce naturale, dappoichè questo dà sempre due immagini uguali attraversando un romboide.

Per far meglio l'analisi di questa proprietà particolare può adoperarsi la luce solare, e collocare il secondo romboide molto lungi dal primo per operare separatamente sui raggi ordinari e straordinari, ai quali ha dato origine.

Allora si ravvisa: 1° che, se le sezioni principali son parellele, il *raggio ordinario* del 1° cristallo si rifrange tutto quanto *ordinariamente* nel 2°, e che il *raggio straordinario* si rifrange eziandio tutto intero *straordinariamente*; 2° che, se le sezioni principali sono perpendicolari, il *raggio ordinario* del primo cristallo si rifrange tutto quanto *straordinariamente* nel secondo, mentre il *raggio straordinario* si rifrange tutto quanto *ordinariamente*; 3° che, se le sezioni principali formano tra loro un angolo di 45°, ciascuno dei raggi ordinario e straordinario del primo cristallo dividesi nel secondo in due fasci uguali; 4° che nelle altre situazioni relative delle due sezioni principali ciascuno dei fasci del primo cristallo dà origine a due fasci disuguali nel secondo.

In tutti gli esperimenti di tal fatta possono con pro ai romboidi sostituirsi dei prismi di calce carbonata o di cristallo di rocca, acromatizzati con vetro; il che noi diremo prismi *bi-rifrangenti*. Essi debbono essere lavorati in modo, che l'asse ottico sia parallelo o perpendicolare al lato del vertice; allora, dando alle facce laterali delle convenevoli inclinazioni, si ottengono delle separazioni più o meno grandi fra le due immagini, e niente riesce più facile di osservare e far l'analisi di ciascuna di esse partitamente; ma s'intende bene che le due immagini mai non possono essere in una volta compiutamente acromatizzate, conciossiachè procedano da diverse potenze rifrattive.

5°. *Esperimento di riflessione nella seconda superficie dei corpi doppiamente rifrangenti.* — Quando un fascio di luce si riflette sulla seconda superficie di un corpo fornito della doppia rifrazione, esso presenta fenomeni particolari dipendenti dalle proprietà, di cui abbiamo fatto parola poco anzi. Giungendo in questa seconda superficie il fascio è ordinario o straordinario, poichè ha di presente attraversato un cristallo, e trovasi dopo la riflessione nello stesso caso di un fascio ordinario o straordinario, che si presenta per penetrare in un secondo cristallo. Di qui le diverse apparenze delle immagini riflesse secondo le posizioni relative dell'occhio, del piano di riflessione, e della sezione principale del cristallo. Di tutti questi effetti si può fare agevolmente l'analisi per mezzo del prisma bi-rifrangente.

446. bis. *Doppia rifrazione del vetro compresso.* — Dopo avere esposti i principali fenomeni della doppia rifrazione nei cristalli dobbiamo dare una immagine delle cagioni accidentali, che possono operare sulla maggior parte dei corpi diafani per renderli anche doppiamente rifrangenti. Queste indicazioni non avranno il solo scopo di farci conoscere fatti novelli, ma serviranno ancora a mostrarci in modo evidente, che la divisione dei raggi nei corpi doppiamente rifrangenti è prodotta dalla disuguale elasticità, che l'etere nelle diverse direzioni possiede, e che questa disuguale elasticità essa stessa risulta dalla forma delle molecole, dalla loro distanza relativa, e dalla loro disposizione particolare. Ecco l'esperienza immaginata da Fresnel per dimostrare questa importante verità.

Quattro prismi rettangolari di vetro *a*, *b*, *c*, *d* perfettamente uguali tra loro sono posti l'uno accanto dell'altro sopra un piano orizzontale dalla loro faccia ipotenusa (*fig. 300*). Dall'uno e dall'altro lato s'applicano ai quattro capi delle strisce di cartone, e sopra queste delle strisce d'acciaio durissime, poi si comprimono fortissimamente in una morsa conveniente, in modo che la compressione si eserciti nel senso dell'asse de'prismi per diminuirne la lunghezza. Mentre il vetro è mantenu-

to così in uno stato forzato, si aggiustano tre altri prismi rettangolari *e.f,g*, e due prismi *h*, *k* di 45° per completare un parallelepipedo allungato, le cui facce estreme *ss'* siano parallele; le facce laterali di tutti questi ultimi prismi sono incollate alle facce laterali de' primi con mastice in gocce per evitare le riflessioni parziali.

Questo sistema composto in tal guisa è fornito della doppia rifrazione. Una picciola mira collocata ad 1 metro dal lato della faccia *s'* per esempio, vedesi doppia dall'occhio, che guarda verso la faccia *s*, e l'allontanamento delle due immagini può essere di 1 millimetro od anche più. Del rimanente si può accertarsi che ciascuno de' due fasci gode tutt'i caratteri de' fasci doppiamente rifranti. Ora è manifesto che in tal caso la doppia rifrazione è prodotta dalla disuguale elasticità dell'etere nel vetro compresso ed in quello che non lo è.

Nella fine della polarizzazione molti fenomeni notevolissimi osserveremo, che risultano da una doppia rifrazione verace in un gran numero di corpi diafani non cristallizzati; ma se questa doppia rifrazione è abbastanza forte per produrre de' vivi colori, troppo è debole per essere direttamente osservata.

Per compiere l'esposizione de' principali fenomeni, che appartengono esclusivamente alla doppia rifrazione, noi qui accenneremo ancora in che modo il principio della divisione de' raggi può essere utilmente applicato alla misura de' piccioli angoli: Rochon ha effettuito il primo questa ingegnosa applicazione nel 1777 in un'istrumento, che oggidì si appella *micrometro a doppia immagine o cannocchiale di Rochon.*

Micrometro a doppia immagine. — Figuriamo due prismi di cristallo di rocca (*fig. 301*), essendo l'asse del primo *asb* perpendicolare alla faccia *sb*, e l'asse del secondo al contrario paralello alle facce laterali *as'*, *bs'* ed *ab*; supponiamo che i loro angoli rifrangenti *abs* ed *bas'* siano uguali, e che si siano riuniti dalla faccia *ab* con mastice in gocce, in guisa che compongano un solo sistema, le cui facce *as'* ed *sb* siano esattamente paralelle.

*

Un fascio di luce cadendo perpendicolarmente sopra *sb* penetrerà senza deviazione nè biforcamento sino alla faccia *ab*; ma quivi sarà decomposto in 2 fasci distinti: l'uno ordinario, che seguirà il suo cammino *ovo'* in linea retta; l'altro straordinario, che sarà deviato e prenderà il cammino *vtx*, facendo dopo la sua emergenza un angolo $xtq' = e$ con la normale o col fascio ordinario *vo*. Situando l'occhio dietro la faccia *as'* vedrassi adunque un'immagine doppia del punto, che manda la luce, e queste due immagini si vedranno sotto l'angolo *e*. I fasci mandati dai punti vicini proveranno lo stesso effetto, dappoichè saranno pochissimo obbliqui sulla faccia *sb*, e così l'occhio vedrà una doppia immagine degli oggetti, che sono nel campo della vista, senza che siavi deformazione sensibile, almeno per quelli che mandano la luce sotto una piccola obbliquità.

Per determinare l'*angolo di raddoppiamento*, *e*, che appartiene al sistema de' prismi, dinotiamo con i, r, i', gli angoli *ovp*, *tvp'*, *vtq*; con *a* gli angoli rifrangenti *sba*, *s'ab*, di modo che $i = a$ ed $i' = a - r$; con n, n' gl'indici di rifrazione ordinaria e straordinaria: è facile il vedere che allora si avrà:

$$\frac{sen.\ a}{sen.\ r} = \frac{n'}{n} \text{ e } \frac{sen.\ e}{sen.\ (a - r)} = n';$$

d'altra parte si ha $n' = 1,5582$, ed $no = 1,5484$. Sicchè dopo avere con gli ordinari processi determinato l'angolo *a* de' prismi, la prima equazione darà *r*, ed essendo questo valore sostituito nella seconda equazione, se ne dedurrà il valore di *e*. Questi valori saranno di 19' 30"; 28' 20"; 40' 0"; 57' 40" per valori di *a* di 30°; 40°; 50°; 60°.

Invece di determinare col calcolo l'angolo di raddoppiamento di un prisma dato, si può di leggieri determinarlo con l'osservazione: al che basta di allontanare una mira circolare avente un diametro cognito *d* fino ad una distanza cognita *z*, in modo che guardandola col prisma le sue due immagini siano tangenti l'una con l'altra; allora è chiaro che l'angolo di raddoppiamento *e* è uguale all'angolo, sotto cui vedesi ad occhio nudo la mira in questa distanza *z*; sicchè si ha:

$$tang.\ e = \frac{d}{z};$$

reciprocamente conoscendosi l'angolo e potrebbe determinarsi d per mezzo di z, o z per mezzo di d per un oggetto, le cui immagini sarebbero a contatto.

Il prisma, di cui si tratta, si può in diversi modi applicare a' cannocchiali, nel micrometro a doppia immagine, che dicesi ancora micrometro di Rochon dal nome del suo inventore: il prisma è nel tubo del cannocchiale tra l'oggettivo e l'oculare (*fig. 302*), e può moversi a volontà rimanendo sempre nell'asse; si approssima al foco dell'oggettivo fino ad una distanza $fz = h$, di maniera che le due immagini fm, $f'm'$ dell'oggetto, che si vuol misurare (*fig. 302*) siano a contatto (*fig. 303*); allora fra l'angolo visuale $fcm = v$ e l'angolo di raddoppiamento $fzm = e$, hassi evidentemente la corrispondenza

$$\text{tang. } v = \frac{h}{f} \text{ tang. } e;$$

f è la distanza focale fc dell'oggettivo, e viene determinato con uno de' mezzi testè indicati; sicchè rimane soltanto sconosciuto il valore di h, che potrebbesi misurare direttamente sul tubo.

Nondimeno è più esatto il procedere alla gradazione nel modo seguente: guardasi col cannocchiale una mira circolare, di cui si conosce il diametro e la distanza, che per conseguenza sostiene un angolo conosciuto di 20 in 30'; ponesi il prisma in un punto dove solo un'immagine fa vedere, questo è lo zero dell'istrumento; poi si fa camminare verso l'oggettivo fino al punto, in cui le due immagini sono a contatto: allora sapendo che l'angolo visuale v è di 30' per esempio, si nota 30 sul tubo, dove trovasi il segno del prisma, e dividesi in 30 parti uguali l'intervallo da 0 continuando le divisioni al di là di 30; guardando un altro obbietto dopo avere posto a contatto le sue due immagini; ci basta leggere la di-

visione corrispondente al segno del prisma, questo è l'angolo visuale di questo oggetto.

Allato a queste divisioni angolari si trovano anche scritti sul tubo altri numeri esprimenti la correlazione tra la distanza e la grandezza di un obbietto. Così accanto a 4' sta scritto 859, il che significa che la distanza di un oggetto è 859 volte la sua grandezza, quando è visto sotto un angolo di 4'; sicchè con questa seconda divisione il micrometro a doppia immagine dà la distanza di un oggetto, di cui la grandezza si sappia, e reciprocamente la grandezza di un oggetto, la cui distanza sia nota.

Il Sig. Arago, che ha fatto uso di questo istrumento per misurare il diametro de' pianeti, ha trovato pro nel mettere il prisma tra l'oculare e l'occhio: ma vuolsi allora impiegare un oculare speciale, i cui vetri siano mobili per cangiare ad arbitrio gl' ingrandimenti. Con questo si perviene, come nel caso precedente, a stabilire il contatto delle due immagini: l' ingrandimento g, che adempie siffatto scopo, essendo noto dalla posizione rispettiva de' vetri dell' oculare, è facile a dedurne il diametro apparente d dell'astro o dell'oggetto, avendosi allora:

$$e = dg.$$

Reciprocamente si potrebbe con questo processo determinare l' ingrandimento di un cannocchiale: ma per questo farebbe mestieri di allontanare una mira circolare, finchè le due sue immagini fossero a contatto, quando si guardano col prisma posto dinanzi all'oculare: allora conoscendosene il diametro apparente d e l'angolo e, se ne dedurrebbe g.

Questo stesso processo potrebbe venire applicato eziandio a' microscopi: per questo bisognerebbe situare dinanzi alle lenti obbiettive un micrometro di vetro e metterlo nel foco; poi, invece di osservarlo con la camera chiara, si osserverebbe col prisma di Rochon, girandolo in modo, che le due immagini fossero nella stessa linea: allora conoscerebbesi la frazione m di millimetri,

della quale un'immagine supera l'altra; ed è questa frazione ampliata e divenuta g volte maggiore, che in distanza della visione distinta d forma la tangente dell'angolo di raddoppiamento; sicchè si ha:

$$1 : \text{tang. } e :: d : gm, \text{ dal che } g = \frac{d \text{ tang. } e}{m}.$$

CAPITOLO II.

Fenomeni generali e leggi generali della polarizzazione.

447. *Polarizzazione per riflessione.* — Quando un pennello di luce è stato riflesso su di una piastra di vetro formando con la superficie un angolo di 35° 25', dicesi ch'è *polarizzato*, dappoichè allora offre notevoli proprietà, che non si osservano nella luce naturale. Ecco quali di siffatte proprietà noi prenderemo per distintive:

1° Esso non dà che un' *immagine sola* passando attraverso ad un prisma birifrangente, quando la sezione principale di questo prisma è parallela o perpendicolare al piano di riflessione, mentr'esso dà due immagini più o meno intense in tutte le altre posizioni;

2° Non prova *nessuna riflessione* cadendo sopra una seconda lamina di vetro sotto lo stesso angolo di 35° 25' quando il piano d'incidenza su questa seconda lamina è perpendicolare al piano d'incidenza sopra la prima, mentre si riflette parzialmente in altri piani e sotto altre incidenze;

3° *Si estingue* cadendo perpendicolarmente su di una piastra di turmalina, il cui asse è parallelo al piano di riflessione, mentre si trasmette con un'intensità crescente, siccome l'asse della turmalina si approssima di essere perpendicolare al piano di riflessione.

Per dimostrare con l'esperienza tali verità si può usare l'apparecchio rappresentato nella *fig. 304*: *t* tubo di rame simile ad un tubo di cannocchiale; *d* diaframma; *g* riflessore di vetro nero (quando vuolsi renderlo fisso lo si ferma in una positura cosiffatta, che l'asse del tubo faccia con esso un angolo di 35° 25') ; *p*, *q*, *r*, *s* un prisma birifrangente, uno specchio, una turmalina, ed una pila di cristallo: le incastrature di ciascuno di questi pezzi terminano in un anello *n*, che

si adátta sull' estremo partito del tubo principale, dove gira liberamente; portando questo anello un segno, che percorre la divisione, facil cosa è il comprovare qual sia la posizione angolare del pezzo mobile rispetto al piano di riflessione sullo specchio *g*.

Essendo il tubo *t* convenevolmente disposto, perchè la luce del cielo o la luce bianca delle nubi cada sul riflessore *g*, è chiaro, dietro quanto abbiamo detto, che il fascio riflesso secondo l' asse del tubo faccia un angolo di 35° 25' con la superficie riflettente: osservandolo allora col prisma *p*, si veggono generalmente due immagini di questo fascio o piuttosto dell' apertura del diaframma *d*; ma facendo girare di una intera circonferenza il prisma e la sua incastratura, è agevole a dimostrare che l' *immagine è semplice* per quattro posizioni del prisma; cioè: quando la sua sezione principale è pararalella al piano di riflessione, o quando gli è perpendicolare.

Sostituendo al prisma lo specchio *q*, ed osservando l' immagine, ch' esso riflette, del diaframma *d*, vedesi che questa immagine si estingue, quando l' incidenza sopra questo secondo specchio è anche di 35° 25' con la sua superficie, e che nel tempo stesso il piano d' incidenza è perpendicolare al primo piano d'incidenza sullo specchio *g*: in qualsivoglia altra posizione l' immagine riflessa acquista uno splendore più o meno vivo, che si affievolisce gradatamente, siccome si approssima a quella testè diffinita.

Se da ultimo allo specchio *q* si sostituisce la turmalina *r*, vedesi che l' immagine del diaframma *d* è brillantissimo, quando l' asse della turmalina è perpendicolare al piano di riflessione, che a poco a poco s' indebolisce, quando si allontana di tal positura, e che si estingue del tutto, quando l' asse della turmolina è paralello al piano di riflessione.

Queste sono le proprietà distintive de' raggi polarizzati: ognuna di queste tre proprietà, sia qualsivoglia, trae di necessità le altre due. Adunque per scorgere se un raggio è polarizzato, noi ci possiamo oramai contentare di

osservarlo con la piastra di turmalina o col prisma birifrangente.

Appellasi concordemente *piano di polarizzazione* il piano, secondo cui è stata riflessa la luce, che trovasi polarizzata per riflessione: ma, siccome potrebbe doversi studiare un raggio polarizzato, del qual s'ignorasse l'origine, è stato mestieri, serbando al tutto questa definizione, di farne un'altra equivalente, o meglio indicare un altro carattere per riconoscere il piano di polarizzazione; e la piastra di turmalina è attissima per questo uso: quando un raggio si estingue attraversando la turmalina il suo piano di polarizzazione è paralello all'asse della piastra: quando al contrario un raggio ha il suo *maximum* d'intensità attraversando la turmalina, il suo piano di polarizzazione è perpendicolare all'asse della piastra.

Gli esperimenti da noi fatti con la luce delle nuvole possono eseguirsi con una qualsiasi luce artificiale o naturale; ed è altresì facile di farli nella camera nera con la luce solare; allora le immagini si dipingono su di una tavola lontana: gli esperimenti diventano in questo caso alquanto più agevoli, servendosi del raggio di luce orizzontale riflesso da un eliostato o da un porta-luce, e sostituendo al primo specchio *g* o un prisma birifrangente od una turmalina od una pila di cristallo *s*, siccome or ora indicheremo.

La scoperta della polarizzazione, di cui abbiamo dato una prima immagine poco fa, venne fatta da Malus nel 1810; nè alcuno aveva fino allora supposto che la riflessione potesse imprimere caratteri particolari alla luce. Se una meravigliosa sagacia bastava per discoprire e far l'analisi delle proprietà tanto nuove e straordinarie, certamente un acutissimo genio faceva mestieri a sviluppare tali proprietà, come il Malus fece, ed a mostrare a' fisici ch'esse aprivano nell'ottica una carriera immensa per la sua estensione e per la sua ricchezza.

Al tempo di siffatta scoperta il sistema dell'emissione dominava compiutamente; in ottica si vedevano solo molecole luminose dotate di vari accessi e di diverse pro-

prietà; tutte queste molecole provando contemporaneamente gli stessi effetti, quando erano state riflesse sul vetro sotto un certo angolo, supponevasi che tutte fossero *girate* allo stesso modo, e quindi ch' esse avessero degli assi di rotazione e de' *poli*, intorno ai quali i loro moti si potevano compiere sotto certe influenze. Di qui la parola *polarizzazione*, la quale indicava che i poli erano diretti o disposti allo stesso modo per tutte le molecole.

448. *Polarizzazione per semplice rifrazione.* — La luce naturale si polarizza attraversando sotto certe condizioni una serie di piastre di vetro a facce parallele, ed allora il suo piano di polarizzazione è perpendicolare al piano di emergenza. Per dimostarlo si fa una *pila di piastre*, *s*, disponendo parallelamente tra loro quattro o cinque piastre di cristallo, che si sostituiscono al riflessore *g*; allora, sottoponendo alla prova il pennello trasmesso da questo apparecchio, osservandolo con uno de' tre mezzi precedentemente indicati, di leggieri si scorge ch' esso è polarizzato, quando penetra ne' cristalli facendo con le lor superficie un angolo di 35° 25', e, siccom' esso ha il suo *maximum* d' intensità, quando l' asse della turmalina è parallelo al piano di emergenza, se ne conchiude che il piano di polarizzazione è perpendicolare ad esso piano. Se la luce è vivissima, la non è polarizzata compiutamente, e deesi allora adoperar nella pila un numero maggiore di cristalli.

Gli altri corpi trasparenti e non cristallizzati presentan fenomeni analoghi: soltanto ad ottenere il *maximum* di polarizzazione bisogna che l' incidenza varia con la natura della sostanza.

449. *Polarizzazione per doppia rifrazione.* — I due fasci ordinario e straordinario, che la luce naturale dà attraversando la sezione principale di un cristallo, entrambi sono polarizzati: il primo nel piano di emergenza ed il secondo perpendicolarmente ad esso piano.

Per dimostrarlo, al riflessore *g* (*fig. 304*) si sostituisce un prisma birifrangente, ed osservasi la luce trasmessa con uno degli apparecchi od *analizzatori* *p*, *q*,

r: se per esempio fassi uso della *turmalina*, facilmente si scorge che l'immagine *ordinaria* (quella ch'è nell'asse e non deviata) acquista il suo maximum d'intensità, allorchè l'asse della turmalina è perpendicolare alla sezione principale del prisma, e che al contrario si estingue, allorchè l'asse della turmalina è nella sezione principale essa medesima; l'immagine *straordinaria* (quella ch'è fuori dell'asse e deviata) presenta fenomeni precisamente opposti: gli è un mezzo di discernere la immagine ordinaria dalla straordinaria.

450. *Polarizzazione per riflessione irregolare.*— Quando una superficie qualunque è rischiarata da una viva luce, i raggi irregolarmente riflessi, che manda in tutt'i versi, si trovano parzialmente polarizzati in un piano perpendicolare al piano di emergenza. Per rendersene certi basta far cadere nella camera nera un raggio di luce solare su di una superficie più o meno lisciata, e di guardare tal superficie con una piastra di turmalina, che fassi girar nel suo piano per rendere l'asse ora parallello ora perpendicolare al piano di emergenza de' raggi: nel primo caso lo splendore della superficie sarà sensibilmente più vivo che nel secondo; il che prova che la luce è polarizzata, siccome abbiamo detto, ma che lo è in parte soltanto.

450. bis. *Polarizzazione della luce atmosferica.* — Da tutto quel che precede, risulta che la luce quasi mai non è riflessa o rifranta senza esser più o meno polarizzata; quindi si può aspettare di riconoscere nella luce atmosferica una polarizzazione più o meno compiuta; gli è ciò, che di fatto accade, quando soprattutto il cielo è sereno; e per farsene certi ci basta guardare i diversi punti del cielo con una turmalina, che fassi girar nel suo piano: quando l'immagine che si scorge ha lo stesso splendore in tutte le posizioni dell'asse, non evvi polarizzazione; ma, se in due posizioni rettangolari evvi una diversità di splendore, la luce, che viene da questa regione del cielo, è più o meno polarizzata, ed il piano di polarizzazione è perpendicolare all'asse della turmalina nell'istante che dà più scura immagine.

451. *Legge del Sig. Brewster sull' angolo di polarizzazione.* — L' angolo, sotto il quale le varie superficie riflettenti polarizzano la luce in maggior proporzione, si determina o col goniometro di Charles o con qualsivoglia altro istrumento atto di misurare gli angoli: a ciò basta il disporre convenientemente la superficie, che si vuol sottoporre alla prova, e l'osservare il fascio riflesso con una turmalina, il cui asse sia perpendicolare al piano di riflessione; l'angolo d'incidenza, pel quale l'immagine veduta nella turmalina si estingue o prende il minimo splendore, è il richiesto. Molte esperienze si erano fatte in tal modo, quando il Sig. Brewster paragonandone i risultamenti fu condotto a discoprire la legge notevole, alla quale sono soggetti. Ed è questa:

La tangente dell'angolo di polarizzazione è uguale all'indice di rifrazione, ovvero, il che vuol dire lo stesso, *l'angolo di polarizzazione è quello, pel quale il raggio riflesso è perpendicolare al corrispondente raggio rifratto.*

Di fatto dinotandosi con n l'indice di rifrazione di una sostanza, con p il suo angolo di polarizzazione, e con r l'angolo di rifrazione corrispondente, ei si avrà mercè il primo esposto della legge di Brewster e mercè l'ordinaria legge di rifrazione:

Tang. $p = n$ e sen. $p = n$. sen. r; il che dà cos. $p =$ sen. r, e quindi $r + p = 90°$ conforme al secondo esposto.

Quando la riflessione si compie nell'interno di una sostanza, l'indice di rifrazione diventa $\frac{1}{n}$, ed esprime ancora la tangente dell'angolo, sotto cui l'interna riflessione dà la polarizzazione più compiuta.

Rappresentando il raggio incidente con *si* (*fig.* 305), sotto l'angolo di polarizzazione compiuta, vedesi per la prima superficie che i suoi raggi riflessi e rifratti corrispondenti *if* ed *ir* sono perpendicolari tra loro, e ch' è lo stesso nella seconda superficie de' raggi *rf'* ed *rs'*.

Adunque basta conoscer l'indice di rifrazione di una sostanza per calcolare il suo angolo di polarizzazione; e

reciprocamente essendo conosciuto l'angolo di polarizzazione per un qualsivoglia corpo, è agevole dedurne l'indice di rifrazion dello stesso.

Le sostanze doppiamente rifrangenti avendo indici di rifrazione, che cangiano con la grandezza degli angoli e la direzione de' piani d' incidenze, ci si può presumere che gli angoli di polarizzazione deggiano allora presentare alcuni fenomeni particolari, ma finora io non conosco veruna osservazione precisa intorno di ciò.

Acquistando gl' indici di rifrazione valori diversi pe' diversi colori, ne risulta che strettamente tutt'i raggi dello spettro non si polarizzano esattamente sotto lo stesso angolo.

452. *Legge di Malus sulla partizione della luce polarizzata.* — Quando un fascio di luce polarizzata attraversa un prisma birifrangente, abbiamo veduto ch'è semplice nella sua emergenza, se la sezione principale del prisma fa col piano di polarizzazione degli angoli o, 90, 180 o 270°; ma in tutte le altre posizioni evvi una immagine ordinaria ed un'immagine straordinaria, che cangiano splendor relativo, e si estinguono di mano in mano, quando si giunge alle posizioni precedenti. Era stato indotto il Malus a rappresentar questi cangiamenti d'intensità con la seguente formola:

$$t = \cos.^2 a \text{, pel raggio ordinario,}$$
$$t' = \text{sen.}^2 a \text{, pel raggio straordinario,}$$

essendo a l'angolo della sezione principale del prisma col piano di polarizzazione, 1 l'intensità del raggio incidente, e t e t' le intensità de' raggi trasmessi, che variano con la grandezza dell'angolo a.

Sicchè, 1° la somma delle intensità de' due raggi è sempre uguale a quella della luce incidente, dappoichè per tutt'i valori di a si ha $t + t' = 1$;

2.° Per $a = 0$ il fascio straordinario è estinto; mentre il fascio ordinario ha il suo *maximum* di splendore o l'intensità 1; cominciando da questa posizione t' aumenta e t diminuisce fino ad $a = 90°$; allora il fascio ordi-

nario si estingue, ed è i' che diventa uguale ad 1; da 90 a 180 si riproducono gli stessi fenomeni in senso inverso, e l'altra semi-circonferenza dà eziandio gli stessi risultamenti.

Questa legge notevole, la qual dapprima non era che un mezzo empirico di rappresentar le apparenze, è stata verificata e dimostrata da un gran numero d'importanti conseguenze, siccome di presente vedremo.

Purtuttavia fra queste conseguenze havvene una, sulla quale dobbiamo qui insistere: ed è che *un fascio di luce naturale di una intensità uguale ad 1 può essere sempre considerato, come la riunione di due fasci polarizzati ad angolo retto, avente ognuno un'intensità* $\frac{1}{2}$.

Di fatto ricevendo questi due fasci su di un prisma birifrangente, la cui sezione principale faccia un angolo a col piano di polarizzazione del primo, e quindi un angolo di $90 - a$ col piano di polarizzazione del secondo, è facile il vedere che il primo fascio darà nel prisma due immagini l'una ordinaria e l'altra straordinaria, le cui intensità saranno rispettivamente:

$$\frac{\cos. a}{2} \text{ e } \frac{\text{sen.}^2 a}{2},$$

e che il secondo fascio parimente darà due immagini, l'una ordinaria e l'altra straordinaria, le cui intensità saranno:

$$\frac{\cos.^2 (90 - a)}{2} = \frac{\text{sen.}^2 a}{2} \text{ e } \frac{\text{sen.}^2 (90 - a)}{2} = \frac{\cos.^2 a}{2}$$

Sicchè la somma delle due immagini ordinarie fia sempre.

$$\frac{\cos.^2 a}{2} + \frac{\text{sen.}^2 a}{2} = \frac{1}{2},$$

e la somma delle due immagini straordinarie

$$\frac{\text{sen.}^2 a}{2} + \frac{\cos.^2 a}{2} = \frac{1}{2};$$

cioè che queste due immagini saranno sempre uguali in intensità; e ciascuna $\frac{1}{2}$ dell'intensità totale, qualunque sia le posizione della sezione principale del prisma birifrangente, ch'è appunto il carattere della luce naturale o non polarizzata.

453. *Legge di Fresnel sull'intensità della luce riflessa.* — La quantità della luce riflessa dalle superficie lisciate cresce incessantemente con l'obbliquità dell'incidenza: è un fatto, che si può di leggieri confermare con esperimenti approssimanti; ma dieci anni indietro non si avea nè un metodo sperimentale per paragonare strettamente le intensità corrispondenti alle diverse obbliquità; nè una formola generale per esprimere in tutt'i casi la correlazione, che havvi tra la luce incidente e la luce riflessa. I fenomeni della polarizzazione l'hanno menato a questa doppia soluzione del problema. Il Sig. Arago ha immaginato la prima, la seconda Fresnel. La formola di Fresnel si fonda sopra considerazioni meccaniche, che noi possiamo qui sviluppare; ma noi ci limiteremo a discuterla solamente per qualche casi speciali. Coloro, i quali vorranno più ampli particolari, potranno consultar le memorie originali (*Ann. di Fis. e di Chim.* t. XVII, p. 191 e 312). Questa formola è la seguente:

$$t = \frac{\text{sen.}^2(i - i')}{\text{sen.}^2(i + i')} \cos.^2 a + \frac{\text{tang.}^2(i - i')}{\text{tang.}^2(i + i')} \text{sen. } a$$

L'intensità della luce incidente è presa per unità: t intensità della luce riflessa; a azimut del piano di polarizzazione della luce incidente, o angolo di questo piano col piano d'incidenza o di riflessione; i angolo d'incidenza; i' angolo di rifrazione corrispondente e sempre ligato ad i dalla correlazione sen. $i = n$. sen i', essendo n l'indice di rifrazione della sostanza riflettente rispetto al mezzo, in cui la riflessione si compie.

Mediante queste due correlazioni fra le cinque quantità n, i, i', a, t se ne possono adunque determinar sempre due, quando le altre tre sono note; il che dà luogo ad un gran numero di applicazioni, di cui basta qui indicare il principio.

Havvi di più, la formola si estende anche alla luce naturale, avendo noi veduto dianzi che un fascio di luce naturale di un'intensità 1 può esser considerato come la riunione di due fasci polarizzati ad angolo retto, aventi ciascuno un'intensità $\frac{1}{2}$. Adunque prendiamo due fasci, che adempiano tali condizioni: sia a l'azimut del primo, $90 - a$ quello del secondo; dopo la riflessione l'intensità del primo verrà espressa dalla formola precedente moltiplicata per $\frac{1}{2}$, e l'intensità del secondo verrà espressa dalla stessa formola avente sen.^{2} a nel primo termine e cos.^{2} a nel secondo, in modo che aggiungendoli l'angolo a sparisce; ed allora per l'intensità totale del raggio riflesso si ha:

$$t = \frac{1}{2}\left\{\frac{\text{sen.}^2(i - i')}{\text{sen.}^2(i + i')} + \frac{\text{tang.}^2(i - i')}{\text{tang.}^2(i + i')}\right\}.$$

Sicchè conoscendosi i ed n si può determinare col calcolo t.

Se la luce incidente è *mescolata* o composta di una quantità k di luce polarizzata e di una quantità $1 - k$ di luce naturale, di leggieri si troverà che l'intensità t del raggio riflesso è data dalla formola:

$$t = \frac{1 + k\cos.\,2a.\,\text{sen.}^2(i - i')}{2\quad\text{sen.}^2(i + i')} + \frac{1 - k\cos.\,2a.\,\text{tang.}^2(i - i')}{2\quad\text{tang.}^2(i + i')}$$

Adunque basterà per questo di applicare la prima formola alla quantità k, e la seconda alla quantità $1 - k$, dipoi aggiungere i risultamenti.

Per l'incidenza perpendicolare avrebbesi $i = 0$, $i' = 0$, e la formola darebbe $\frac{0}{0}$; ma per averne il vero valore bisogna osservare che per piccole incidenze si possono prender gli angoli in luogo de' seni e delle tangenti, e che allora $i = ni'$, il che dà:

$$t = \left(\frac{n - 1}{n + 1}\right)^2.$$

454. *Movimento del piano di polarizzazione mercè la riflessione.* — Quando un raggio di luce polarizzata si riflette su di una superficie lisciata sotto diverse obbliquità, anche la porzione riflessa trovasi polarizzata, ma generalmente accade, che il suo piano di polarizzazione ha mutato azimut, ovvero ha preso un movimento di un certo numero di gradi. Questo nuovo azimut è dato dalla formola:

$$\text{tang. } a' = \text{tang. } a \frac{\cos. (i + i')}{\cos. (i - i')};$$

a è l'azimut del piano di polarizzazione nel raggio incidente; a' l'azimut del piano di polarizzazione nel raggio riflesso; i è l'angolo d'incidenza; i' il corrispondente angolo di rifrazione dato dalla correlazione sen. $i =$ sen. i' n, essendo n l'indice di rifrazione della sostanza riflettente.

1° Perchè si possa avere $a = a'$ bisogna si abbia

$$\cos. (i + i') = \cos. (i - i');$$

la qual condizione non può essere veramente adempiuta che di due modi: con $i = 0°$ e con $i = 90°$. Dal che procede che la riflessione perpendicolare e la riflessione sotto il maggiore angolo possibile sono le sole che non facciano mutare l'azimut del piano di polarizzazione, qualunque ne sia il valore.

2° Essendo gli angoli i ed i' sempre più piccoli di 90°, ne risulta che cos. $(i + i')$ è sempre più piccolo di cos. $(i - i')$, e quindi sempre più piccol di a, cioè che il piano di polarizzazione nel suo movimento si approssima sempre al piano d'incidenza.

3° Allorchè si ha $i + i' = 90°$ ovvero, il che torna lo stesso, quando il raggio cade sotto l'incidenza della polarizzazione compiuta, si ha sempre $a' = 0$.

Sicchè sotto l'angolo della compiuta polarizzazione il raggio riflesso trovasi sempre polarizzato nel piano d'incidenza, qualunque sia l'azimut del piano di polarizzazione del raggio incidente.

Questo risultamento fa comprendere come il fatto della polarizzazione totale si trova ligato al movimento del piano di polarizzazione per la riflessione, e quanto sia conforme alle analogie il considerare un fascio di luce naturale qual fascio composto di un gran numero di raggi polarizzati in tutti gli azimut, dappoichè la riflessione riconduce nel piano d'incidenza i piani di polarizzazione di tutti questi raggi.

4° Allorchè l'azimut del piano di polarizzazione è di 45°, hassi tang. $a = 1$; e

$$\text{tang. } a' = \frac{\cos.(i+i')}{\cos.(i-i')};$$

formola verificata da Fresnel.

Questi diversi movimenti del piano di polarizzazione possono essere rappresentati da una costruzione grafica, che ha il vantaggio di parlare agli occhi.

Prendiamo una linea $q\,p$ (*fig. 306*), che divideremo in 90 parti eguali; poniamo che questa linea rappresenti la direzione del piano d'incidenza sulla superficie riflettente, e che i fasci incidenti cadano successivamente in diversi punti sopra questa linea con obbliquità segnate dall'ordine di questi punti. Così, nel punto p, dov'è scritto 0°, il fascio cadrà perpendicolarmente; nel punto a cadrà con un'incidenza di 20°, con una incidenza di 40° nel punto b, di 56° nel punto c, di 70° nel punto d e di 90° nel punto q. Da ultimo supponiamo che il piano di polarizzazione di tutti questi fasci incidenti abbia un azimut di 45°; la linea az nelle sue varie posizioni rappresenterà il piano di polarizzazione del fascio riflesso. Vedesi che solo nell'incidenza di 56° con la normale, o di 34° con la superficie, il piano di polarizzazione del fascio riflesso diventa parallelo al piano di riflessione, e che dall'una e dell'altra parte di questa posizione, cioè per obbliquità minori o maggiori, il piano di polarizzazione tramuta lato: per le obbliquità minori è a dritta del piano d'incidenza, e passa per le maggiori a sinistra.

*

La figura 306, p', q', rappresenta il movimento del piano di polarizzazione per un raggio polarizzato avente pure un azimut di 45°, ma dall'altro lato del piano d'incidenza.

Dopo avere rappresentato graficamente ciò che accade ai raggi polarizzati nell'azimut di 45° sia a diritta, sia a sinistra del piano di riflessione, è facile dedurne quel che accadrà ad un fascio di luce naturale; dappoichè siffatto fascio, di una intensità uguale ad 1, può esser considerato come composto di due fasci aventi ciascuno una intensità uguale ad $\frac{1}{2}$ e polarizzati ad angolo retto (452): ora, se noi supponiamo che uno di questi fasci abbia il suo piano di polarizzazione nell'azimut di 45° ed a dritta del piano d'incidenza, l'altro fascio dovrà avere anche il suo piano di polarizzazione nell'azimut di 45 gradi, ma a sinistra del piano d'incidenza. Per conseguenza i fenomeni della luce naturale non sono che la *sovrapposizione* de' fenomeni rappresentati nella figura 306; pq e p' q', siccome può vedersi in p'' q''. E ne risulta che sotto l'incidenza perpendicolare il fascio riflesso è senza polarizzazione siccome il fascio incidente; essendo al par di esso composto di due fasci di uguale intensità e polarizzati ad angolo retto: siccome l'incidenza cresce, i piani di polarizzazione gradatamente si accostano, ed, allorchè ha luogo la riflessione sul vetro, essi diventano infine paralleli tra loro ed al piano di riflessione per l'incidenza di 56°; cioè allora il raggio riflesso è compiutamente polarizzato nel piano di riflessione: al di là di questo limite e per tutte le incidenze maggiori ciascuno de' piani di polarizzazione continua a girare nello stesso senso, quello di dritta passando a sinistra del piano d'incidenza e quello di sinistra a diritta; ed infine per l'incidenza di 90° i due piani di polarizzazione si trovano perpendicolari tra loro, avendo ripreso ognuno un azimut di 45° dall'altro lato del piano d'incidenza. Or ora questi risultamenti ci serviranno a spiegare la polarizzazione parziale e la compiuta, che risultano da molte successive riflessioni.

455. *Polarizzazione parziale e polarizzazione*

compiuta, prodotta da molte successive riflessioni.— Quando un fascio di luce naturale si riflette sotto un angolo maggiore o minore di quello della compiuta polarizzazione esso presenta tutte le apparenze di un fascio parzialmente polarizzato. Per farsene certi ei basta osservarlo con una piastra di turmalina; conciossiachè l'immagine non scomparisca tutta quanta in alcuna posizion della piastra; ma essa muta intensità, siccome la piastra gira nel suo piano. Dapprima questa luce mescolata erasi riguardata come composta di due fasci, l'uno che ha serbato lo stato suo naturale, e l'altro ch'è stato polarizzato nel piano d'incidenza. Ma il Sig. Brewster ha dimostrato ch'esso in realtà si compone di due fasci eguali e compiutamente polarizzati, l'uno a dritta, l'altro a sinistra del piano di riflessione; essendo l'azimut per ciascun di essi lo stesso, e dato dalla formola:

$$\text{tang.}\, a' = \frac{\cos.\,(i + i')}{\cos.\,(i - i')},$$

dappoichè, potendo il raggio naturale incidente esser considerato come composto di due fasci polarizzati ad angolo retto, è permesso di prendere per l'azimut del primo 45° a dritta, e per quel del secondo 45° a sinistra del piano di polarizzazione, di modo che tang. $a = 1$

Se ammettesi che sia così, fia facile il calcolar la proporzione k della luce, che si polarizza riflettendosi sotto l'angolo i, essendo 1 l'intensità del fascio naturale incidente, e di paragonare in seguito il risultamento del calcolo a quello dell'esperimento. Di fatto ricevendo il fascio riflesso in un prisma birifrangente, la cui sezione principale coincida col piano d'incidenza, la porzione $\frac{1}{2}$ che ha il suo azimut a a diritta, darà un fascio ordinario $\frac{1}{2}$ cos.^{2} a' ed un fascio straordinario $\frac{1}{2}$ sen.^{2} a'; la porzione $\frac{1}{2}$, che ha il suo azimut a' a sinistra, darà parimente $\frac{1}{2}$ cos. $^2a'$ e $\frac{1}{2}$ sen.^{2} a' per fasci

ordinario e straordinario. Sicchè i fasci ordinario e straordinario uscendo dal prisma presi in totalità saranno rispettivamente:

$$t \cos.^2 a' \text{ , e } t \text{ sen.}^2 a'.$$

Ora, se come si suppone, havvi una porzione k di linee, che sia polarizzata nel piano d'incidenza o nella sezione principale, essa manifestamente risulterà dalla differenza delle intensità di queste due immagini; sicchè si avrà:

$$k = t \cos.^2 a' - t \text{ sen.}^2 a' = t\,(1 - 2 \text{ sen. } a'),$$

essendo dato a' dalla formola precedente e t dalla formola, ch'esprime la proporzione totale di luce riflessa sotto l'incidenza i. Finalmente, sostituendo con a' e con t i loro valori, si ha:

$$k = \frac{1}{2}\left\{\frac{\text{sen.}^2(i-i')}{\text{sen.}^2(i+i')} + \frac{\text{tang.}^2(i-i')}{\text{tang.}^2(i+i')}\right\}$$

$$\left\{\frac{\cos.^2(i-i') - \cos.^2(i+i')}{\cos.^2(i-i') + \cos.^2(i+i')}\right\};$$

formola verificata con soddisfacente prossimità da molte esperienze.

Agevol cosa riesce l'estendere questi risultamenti ottenuti per una prima riflessione ad un qualsivoglia numero di riflessioni successive, che si compiono sotto la stessa incidenza e nel medesimo piano; dappoichè, dinotandosi con a', a'', a''', ... a^n gli azimut del piano di polarizzazione dopo la 1ª, la 2ª, la 3ª,... la nª riflessione, si avrà:

$$\text{tang. } a' = \frac{\cos.(i+i')}{\cos.(i-i')}$$

$$\text{tang. } a'' = \text{tang } a' \frac{\cos.(i+i')}{\cos.(i-i')},$$

. . . . . .

$$\text{tang. } a^{n} = \text{tang. } a^{n'} \frac{(\cos. (i + i'))}{(\cos. (i - i'))},$$

e moltiplicando tutte l'equazioni tra loro:

$$\text{tang. } a^{n} = \left\{ \frac{\cos. (i + i')}{\cos. (i - i')} \right\}^{n}$$

Questo ultimo azimut non può essere mai nullo, qualunque sia il numero delle riflessioni, quando non si ha $i + i' = 90°$; ma il suo valore sempre più diminuisce, siccome cresce il numero delle riflessioni; quando non è maggiore di $\frac{1}{2}$° o 1°, la luce apparisce quasi totalmente polarizzata nel piano d'incidenza. Sicchè sul vetro sotto l'incidenza di 70° cinque riflessioni bastano a dare una polarizzazione quasi compiuta.

Del resto le formole precedenti concederebbero di calcolare, quale dopo ciascuna riflessione è la porzione di luce polarizzata, e qual no.

456. *Movimento del piano di polarizzazione per effetto della rifrazione.* — La rifrazione al pari della riflessione può far cangiare o girare il piano di polarizzazione. Questo effetto è rappresentato nella figura 307: *pq* dinota il piano di rifrazione di una lamina di vetro a facce paralelle; la lunghezza di questa linea è stata divisa in 90 parti uguali, ed il numero di ciascuna di queste divisioni indica l'angolo d'incidenza del fascio, che in questo punto cade per attraversare la piastra dopo esservisi rifranto. Sicchè il cerchio, che si scorge rimpetto il n° 60, rappresenta un fascio di luce polarizzata, che cade sopra la prima superficie della piastra sotto un angolo di 60°; il diametro *az* mostra la direzione del piano di polarizzazione di questo fascio, quando è divenuto emergente nell'aria dopo avere attraversato le due superficie della piastra; quivi esso forma 50° 7' col piano di rifrazione. Nel punto *p* o nel numero 0° cade il fascio ad angolo retto sulla piastra e l'attra-

versa perpendicolarmente; l'esperienza dimostra che il suo piano di polarizzazione è dopo l'emergenza lo stesso che nell'incidenza. E la figura è fatta nella supposizione che questo piano formi un angolo di 45° col piano di rifrazione. Ma, siccome l'obbliquità cresce, cresce gradatamente l'azimut del piano di polarizzazione: per una obbliquità di 30° l'azimut è 45° 40',

di 45°. . . . . 46° 47'
di 60°. . . . . 50° 7'
di 90°. . . . . 66° 19'.

Nella riflessione il piano di polarizzazione si approssimava a quello d'incidenza: qui è il contrario, sempre più se ne allontana e manifesta una tendenza a divenirgli perpendicolare. L'effetto, che in questi esperimenti si osserva, è un effetto composto, conciossiachè risulti dall'azione di due superficie. Per conoscere quello che a ciascuna appartiene, bisogna con prismi purissimi sperimentare, e sotto tali incidenze, che il raggio emerga perpendicolarmente alla seconda superficie; questa superficie sarà allora senza azione per mutare l'azimut, e l'effetto osservato sarà dovuto interamente all'azion della prima.

Il Sig. Brewster, che sembra avere il primo fatto l'analisi di tai fenomeni, ha espresso la legge di questi movimenti con la seguente formola:

$$\cot. a' = \cot. a \cos. (i - i').$$

a è l'azimut del piano di polarizzazione del fascio incidente; i l'angolo d'incidenza; i' l'angolo di rifrazione; a' l'azimut del piano di polarizzazione, modificato, come lo è stato, dall'azione della prima superficie.

Ora applichiamo questa formola al caso di una lamina a facce parallele, supponendo che il fascio abbia il suo piano di polarizzazione nell'azimut 45°; allora $\cot. a = 1$, e si ha solamente:

$$\cot. a' = \cos. (i - i').$$

Gli è adunque con quest'azimut a^1 pel suo piano di polarizzazione, che il raggio vassene a cadere sulla seconda superficie con un angolo d'incidenza i'; ma, siccome l'angolo di rifrazione è i, e siccome cos. $(i' - i) =$ cos. $(i - i')$, il novello azimut a'' dopo questa seconda rifrazione sarà dato dall'equazione:

$$\text{cot. } a'' = \text{cot. } a^1 . \text{ cos. } (i - i');$$

moltiplicandola per la prima si trova:

$$\text{cot. } a^1 = \text{cos.}^2 (i - i').$$

Il Sig. Brewster ha verificato questa formola con gran numero di osservazioni.

457. *Della polarizzazione prodotta da rifrazioni successive.* — La precedente legge ne insegna come un fascio di luce naturale può esser polarizzato da successive rifrazioni. Di fatto, poichè un fascio naturale di un'intensità uguale ad 1 può esser considerato come composto di due fasci di un'intensità uguale a $\frac{1}{2}$ polarizzati ad angolo retto, l'uno avente il suo piano di polarizzazione a 45° a dritta del piano di rifrazione, e l'altro di 45° a sinistra, è manifesto che dopo le due rifrazioni attraverso ad una lamina parallela di vetro sotto un'incidenza di 60° per esempio (*fig.* 307), il fascio emergente potrà esser considerato come composto di due fasci polarizzati a 50° 7', l'uno a dritta e l'altro a sinistra del piano di rifrazione. Ed è questo fascio in tal guisa modificato, che a cadere sulla seconda lamina; e dopo la sua seconda emergenza ciascun de' suoi piani di polarizzazione avrà girato eziandio di un certo angolo nel medesimo verso; parimente dopo una terza emergenza, ecc., fino a che i suoi due piani siano esattamente opposti e coincidenti. In questo termine più non evvi che un piano di polarizzazione, ed il fascio apparisce compiutamente polarizzato in un piano perpendicolare al piano di rifrazione. Ma qui, siccome nella riflessione, basterà che gli opposti piani di polarizzazione facciano tra loro un angolo abba-

stanza piccolo, perchè la polarizzazione compiuta appaia sensibilmente esatta all'occhio dell'osservatore.

Per cagion di esempio il Sig. Brewster ha rinvenuto che la luce di una lampada alla distanza di 10 in 12 piedi è perfettamente polarizzata:

per 8 piastre di vetro o 16 superficie rifrangenti sotto un'incidenza di . . . . . 78° 52',
per 24 . . . ovvero 48. . . . sotto. 61° » »,
per 47 . . . ovvero 94. . . . sotto. 43° 34'.

La formola dinota eziandio che i piani di polarizzazione sono allora sensibilmente perpendicolari al piano di rifrazione.

Trovasi parimente che cinque piastre di vetro o dieci superficie polarizzano compiutamente un fascio naturale, che le attraversa sotto la massima obbliquità possibile, ecc.

I quali risultamenti spiegano compiutissimamente i fenomeni delle pile di piastre.

458. *Dell'azione scambievole de' raggi polarizzati.* — Per render compiute le leggi generali della luce polarizzata ci rimane di far noti i fenomeni, che sono stati scoverti da'Sigg. Arago e Fresnel sull'azione scambievole de'raggi polarizzati. Ed io mi fo un obbligo di qui riferire in modo testuale l'esposizione di siffatti fenomeni, siccom'è stata pubblicata da Fresnel:

« Studiando le interferenze de' raggi polarizzati abbiamo rinvenuto il Sig. Arago ed io ch'essi non esercitano più influenza gli uni sopra gli altri, quando i loro piani di polarizzazione sono perpendicolari tra loro, cioè che allora non possono produrre più frange, comechè da un' altra parte tutte siano scrupolosamente adempiute le condizioni necessarie alla loro apparizione nel caso ordinario. Citerò le tre principali esperienze, che ci hanno servito a stabilire questo fatto, cominciando da quella del Sig. Arago. Essa consiste nel fare attraversare a'due fasci procedenti dallo stesso punto luminoso ed introdotti da due fissure parallele, due pile di lamine tra-

sparenti esilissime come quelle di mica o di vetro soffiato, che molto s'inclinano entrambe per quasi compiutamente polarizzare ciascun de'due fasci; ponendo mente che i due piani, secondo cui s'inclinano, siano perpendicolari fra loro: allora non si possono scorgere più frange, sia qualunque la cura d'altra parte adoperata per compensare le differenze di cammino, facendo lentissimamente variar l'inclinazione di una delle pile; mentre, quando i piani d'incidenza delle pile non sono più perpendicolari fra loro, sempre si perviene a fare apparire le frange; siccome questi piani si allontanano dal parallelismo, le frange s'indeboliscono e dispariscono totalmente quando sono rettangolari, se la polarizzazion dei due fasci è stata abbastanza compiuta. Dalla quale esperienza risulta che i raggi polarizzati secondo lo stesso piano s'influiscono scambievolmente, come raggi di luce non modificata; ma che siffatta influenza decresce, siccome i piani di polarizzazione si allontanano l'uno dall'altro, e diventa nulla, quando sono rettangolari.

« Ecco un'altra esperienza, che mena alle stesse conseguenze. Piglisi una lamina di solfato di calce o di cristallo di rocca parallela all'asse, e di una doppiezza uniforme; taglisi in due, e ciascuna della metà si alloghi sopra una delle fenditure del tramezzo. Io suppongo che queste due metà si siano girate in modo, che gli orli, i quali erano contigui nella lamina prima della sua partizione, siano rimasti paralleli e gli assi altresì. Ora in questo caso non altro si discerne che un solo gruppo di frange, nel mezzo dello spazio illuminato, come prima della divisione della lamina. Ma se fa girarsi una delle sue metà nel suo piano, togliendo così il parallelismo de'loro assi, si fanno nascere due altri gruppi di frange più deboli, situati l'uno a sinistra e l'altro a diritta del gruppo della metà, e che ne sono totalmente separati nella luce bianca, quando le lamine di cristallo di rocca o di solfato di calce, di cui si fa uso, hanno sol un millimetro di doppiezza. È da notare che il numero di larghezza della frange comprese fre la metà di uno di questi gruppi e quello del gruppo

centrale è proporzionale alla doppiezza delle lamine per cristalli della stessa natura, o la doppia rifrazione dei quali ha la stessa energìa, che il cristallo di rocca ed il solfato di calce. Siccome cresce l'angolo de'due assi, questi novelli gruppi di frange diventano vie più manifesti, e giungono finalmente al loro maximum d'intensità, quando gli assi delle due lamine sono perpendicolari tra loro; allora il gruppo centrale, che si era gradatamente affievolito, è del tutto scomparso, ed è sostituito da una luce uniforme. E bisogna conchiuderne che i raggi, che li producevano con la loro interferenza, non sono più atti di scambievolmente influirsi. È facile dietro la posizione delle loro frange il vedere che risultavano dall'interferenze de'raggi, che han sofferto lo stesso modo di rifrazione nelle due lamine; conciossiachè, avendole percorse con uguali velocità, essi deggiono contemporaneamente giungere nel mezzo dello spazio illuminato, che corrisponde a cammini eguali, se d'altra parte le due lamine sono della stessa doppiezza ed entrambe rimangono sempre perpendicolari a'raggi, come qui supponiamo. In tal modo le frange del gruppo centrale erano formate dalla soprapposizione di quelle, che risultavano: 1° dall'interferenza de'raggi ordinari della lamina di sinistra co'raggi ordinari di quella a destra; 2° dall'interferenza de'raggi straordinari della prima lamina co'raggi straordinari della seconda. Al contrario i due gruppi eccentrici risultano dall'interferenza de'raggi, che han patito rifrazioni diverse nelle due lamine, e siccome i raggi ordinari sono quelli, che più celeremente camminano nel cristallo di rocca o solfato di calce; ei si vede che, se si adopera una di queste due specie di cristallo, il gruppo di sinistra debb'esser formato dalla riunione de'raggi straordinari della lamina di sinistra coi raggi ordinari della lamina di dritta, ed il gruppo di dritta dalla riunione dei raggi straordinari della lamina di dritta co'raggi ordinari di quella a sinistra. Ciò posto, ora si tratta di determinare il senso di polarizzazione di ciascuno de'fasci interferenti per dedurne quali sono le direzioni relative de' piani di polarizzazione, che favoreggiano od impediscono la mutua loro influenza. Indica l'analogia che il

modo di polarizzazione della luce debb'essere nelle lamine sottili lo stesso che ne'cristalli molto doppi, per dividerla in due fasci distinti. Ma, siccome questa ipotesi può esser l'oggetto di una discussione, e contraddice eziandio una ingegnosa teorica di uno de' nostri più celebri fisici, noi non la rappresenteremo fin dalle prime come un principio sicuro, ed avremo ricorso ad un'esperimento diretto per determinare i piani di polarizzazione de' raggi ordinari e straordinari, ch' escono di queste lamine, ne' quali abbiamo supposto uno o due millimetri di doppiezza. Questa doppiezza basta perchè possa tagliarsi uno de'loro orli ad unghia, ed ottenere con questa forma prismatica la separazione de' raggi ordinari e straordinari: allora si scorge ch'essi sono polarizzati di fatto, i primi secondo la sezione principale e gli altri in un senso perpendicolare. Se questo non si considerasse ancora come una prova bastante che tal è pure il lor modo di polarizzazione uscendo da ciascuna lamina, quando le sue due superficie son parallele, un' altra dimostrazione se ne troverebbe ne' fatti da noi descritti testè, partendo dai principi stabiliti con l' esperienza del Sig. Arago, e da un altro lato confermati con quella, di cui or ora faremo motto. Se per lo contrario non si pone più in dubbio il senso di polarizzazione de' raggi ordinari e straordinari, l'attual esperienza addiventa una seconda dimostrazione di tali principi. Di fatto, quando gli assi delle due lamine fossero parallele, i raggi, che avevano sofferto le stesse rifrazioni in questi due cristalli, si trovavano polarizzati secondo la stessa direzione, e quelli di nomi contrari secondo direzioni rettangolari; ecco perchè il gruppo di frange della metà, che procede dall' interferenza de'raggi dello stesso nome, era nel suo maximum d'intensità, e gli altri due, che risultano dall'interferenza de' raggi di nomi contrari, non apparivano ancora. Ma, quando gli assi delle due lamine formavano tra loro un angolo obbliquo, di 45° per esempio, i raggi di nomi contrari e quelli dello stesso nome potevano operare ad un tempo gli uni su gli altri, dappoichè i loro piani di polarizzazione non erano più rettangolari, ed i tre gruppi di frange erano prodotti. Quando finalmente gli

assi diventano perpendicolari tra loro, i raggi dello stesso nome si trovano polarizzati secondo direzioni rettangolari, ed il gruppo centrale, al quale danno origine, svanisce, mentre allora i raggi ordinari della lamina di sinistra sono polarizzati parallelamente a' raggi straordinari della lamina di diritta, e ciò fa che il gruppo di dritta da essi prodotto perviene al suo maximum d'intensità. Lo stesso è del gruppo di sinistra risultante dall'interferenza de'raggi ordinari della lamina di dritta co'raggi straordinari della lamina di sinistra.

« Ecco una terza esperienza, la qual conferma eziandio le conseguenze tratte per noi dalla prima. Avendo fatto lisciare un romboide di spato calcareo sopra due facce opposte addirizzate con accuratezza e ben parallele, io le segai perpendicolarmente ad esse facce ed ottenni così 2 romboidi di eguale doppiezza, ed in cui il cammino de' raggi ordinari e straordinari doveva essere esattamente consimile sotto la stessa incidenza. Io le situai l'una dinanzi all'altra in modo, che i raggi partiti dal punto luminoso, che avevano attraversato il primo romboide, percorressero poscia il secondo, ponendo mente che le lor facce fossero perpendicolari alla direzione dei raggi incidenti; dippiù la sezione principale del secondo romboide era perpendicolare a quella del primo, in modo che i quattro fasci, ch'essi generalmente producono, erano ridotti a due; il fascio ordinario del primo romboide veniva ordinariamente rifratto nel secondo, ed il fascio straordinario di quello veniva ordinariamente rifratto in questo. Dalla qual disposizione risultava che le differenze di cammino procedenti dalla differenza di velocità de'raggi ordinari e straordinari si trovavano compensate dai 2 fasci, che uscivano; ma d'altra parte s'incrocicchiavano sotto un angolo piccolissimo e tale, che le frange dovevano avere una larghezza soddisfacentissima per esser vedute; eppure, quantunque fossero state accuratamente osservate tutte le condizioni necessarie nelle circostanze consuete per la produzion delle frange, mai non potetti ottenere di farle apparire, mentre accuratamente le ricercava tenendo una lente dinanzi all' occhio, face-

va lentemente variare la direzione di uno de' romboidi, deviandolo ora a dritta ora a sinistra per compensare l'effetto risultante da qualche differenza di doppiezza, se tuttavia ce ne aveva; ma non ostante queste pratiche reiterato moltissime volte, io non vidi affatto frange; nè questo deve punto stupire dietro ciò, che ci hanno insegnato le altre sperienze, dappoichè i due fasci, che uscivano, si trovavano polarizzati ad angolo retto: quel che d'altra parte prova chiaramente che l'assenza delle frange non dipendeva affatto dalla difficoltà di giungere colle prove ad un esatto compensamento, è che io di leggieri otteneva a farle apparire adoperando della luce, ch'era stata polarizzata prima del suo entrare ne' romboidi, e facendole provare un' altra polarizzazione dopo la sua uscita.

« Adunque è dimostrato perfettamente dall' esperienze testè riferite che i raggi polarizzati ad angolo retto non possono esercitare veruna sensibile influenza l'uno sull'altro, o in altri termini che la riunione loro produce sempre la medesima intensità di luce, siano qualsivogliano le differenze di cammino de' due sistemi delle onde interferenti.

« Un altro fatto osservabile è che, polarizzati una volta secondo direzioni rettangolari, non basta più che siano ricondotti ad un piano comune di polarizzazione, perchè posson dare segni apparenti della loro scambievole influenza. Di fatto, se nell'esperienza del Sig. Arago o in quella da me descritta dopo, si fanno passare i raggi usciti dalle 2 fessure, che sono polarizzati ad angolo retto, attraverso di una pila di cristalli inclinati, non si scorgono frange in qualunque direzione si giri il suo piano d'incidenza. In luogo di una pila si può adoperare un romboide di spato calcareo: se la sua sezione principale s'inclina di 45° su' piani di polarizzazione de' fasci incidenti, in modo ch' essa divida in due parti uguali l'angolo, ch' essi fanno tra loro, ciascuna immagine conterrà la metà di ciascun fascio; ed avendo queste 2 metà lo stesso piano di polarizzazione nella stesssa immagine, vi dovrebbero produr delle frange, se bastasse il

ricondurre i raggi ad un comune piano di polarizzazione per istabilire gli apparenti effetti della loro influenza scambievole. Ma con questo mezzo mai non si possono ottenere frange, fino a che i raggi non siano stati polarizzati secondo uno stesso piano prima di esser partiti in due fasci polarizzati ad angolo retto.

« Allorchè per lo contrario la luce ha provato questa precedente polarizzazione, l'interposizione del romboide fa ricomparire le frange. La più vantaggiosa direzione, che possa darsi nel piano primitivo di polarizzazione, è quella, che divide in parti eguali l'angolo de'piani rettangolari, sotto i quali i due fasci sono polarizzati in secondo luogo, conciossiachè allora la luce incidente si divide ugualmente tra loro. Supponiamo per istabilire le idee che il piano di polarizzazione primitiva sia orizzontale: bisognerà che i piani della seguente polarizzazione impressa a ciascuno de'due fasci, siano inclinati di 45° sul piano orizzontale, l'uno al di sopra l'altro al di sotto, in guisa che rimangano perpendicolari tra loro. Questa polarizzazione rettangolare si può ottenere o col soccorso delle due picciole pile impiegate nell'esperienza del Sig. Arago, o con due lamine, i cui assi siano disposti rettangolarmente, o infine con una sola lamina cristallizzata. Noi considereremo solo questo ultimo caso, presentandosi dagli altri due fenomeni del tutto analoghi.

« Per divider la luce in due fasci, che s'incrociano sotto un piccolo angolo, e che possano far nascere in tal modo delle frange, generalmente l'apparecchio de'due specchi è da preferire al tramezzo forato di due fenditure, conciossiachè produca frange più lucide; qui evvi da un altro lato il vantaggio di dare immediatamente a'due fasci la precedente polarizzazione necessaria alla nostra esperienza: al che basta che i due specchi siano di vetro non stagnato, ed inclinati di circa 35° sui raggi incidenti: e vuolsi aver l'accortezza di annerirli di dietro per distruggere la seconda riflessione. Accanto ad essi nel traggitto de'raggi riflessi e perpendicolarmente alla loro direzione si colloca una lamina di solfato di calce o di cristallo di rocca paralella all'asse, uno o

due millimetri doppia, inclinando la sua sezione principale di 45° sul piano di polarizzazione primitiva, che noi abbiamo orizzontale supposto. Disposto così l'apparecchio non si vedrà che un solo gruppo di frange attraverso alla lamina, come prima della sua interposizione, ed esso occuperà il luogo medesimo. Ma se dinanzi al cannocchiale si pone una pila di cristalli inclinati in un senso orizzontale o verticale, da ciascun lato del gruppo centrale si scoprirà un altro gruppo di frange, che di tanto ne sarà più lontano, di quanto la lamina cristallizzata sarà più doppia. Alla pila di cristalli suol sostituirsi un romboide di spato calcare, la cui principal sezione è diretta orizzontalmente o verticalmente, in ciascuna delle due immagini, che produce, si veggono i due sistemi di frange addizionali, che l'interposizione della pila de'cristalli avea fatto nascere; ed è da osservare che queste due immagini sono l'una compimento dell'altra, cioè che le strisce oscure dell'una corrispondono alle lucide dell'altra.

« In questa esperienza noi veggiamo un'altra conferma de' princìpi dimostrati dalle precedenti. I raggi, che han provato rifrazioni di nomi contrari, non si possono influire, dappoichè uscendo dalla stessa lamina nel caso, che noi ora consideriamo, si trovano polarizzati secondo direzioni rettangolari; in conseguenza non possono esistere i gruppi di destra e di sinistra, fuorchè se si ristabilisce la scambievole influenza di questi raggi riconducendoli ad un piano comune di polarizzazione; che vien fatto dall' interposizione della pila de' cristalli o del romboide. Le frange così prodotte sono tanto più manifeste, quanto i due fasci di nomi contrari, che concorrono alla loro formazione, sono più eguali in intensità; ed ecco perchè la direzione della sezione principale del romboide, che fa un angolo di 45° con l'asse della lamina, è la più favorevole all'apparizion delle frange. Quando la sezione principale del romboide è paralella o perpendicolare a quella della lamina, i raggi rifranti ordinariamente dalla lamina passano per intero in una immagine invece di dividersi fra le due, e tutt'i raggi straordinari passano nell'altra immagine, in modo che

allora non vi può essere altra interferenza tra loro; ed i gruppi addizionali spariscono; ciascuna immagine presenta solo le frange risultanti dall' interferenza de' raggi dello stesso nome; quelle cioè, che compongono il gruppo centrale.

« Questi due gruppi di frange addizionali, che presentava la luce polarizzata nella prima posizione del romboide, forniscono uno de'più esatti mezzi di misurare la doppia rifrazione e di studiarne la legge. In fatti l'eccentrica posizione loro dipende dalla differenza di cammino de' raggi ordinari e straordinari, che sono usciti dalla lamina; e si può giudicar del numero di ondulazioni i cui raggi straordinari del fascio a destra sono rimasti dietro i raggi ordinari di sinistra dal numero di larghezza di frange comprese tra la metà del gruppo di destra e quella del gruppo centrale. Anche meglio si determina questa differenza di cammino misurando l' intervallo compreso tra i mezzi de'due gruppi estremi, ch'è il doppio della distanza loro dal mezzo del gruppo centrale. La più commoda a usare in tal sorta di osservazioni è la luce bianca: in prima perch'è più viva; ed in secondo luogo perchè rende più agevole a ravvisare la striscia centrale di ciascun gruppo. Dipoi paragonando la doppiezza della lamina con la differenza del cammino osservato, se ne trae la correlazione delle velocità de'raggi ordinari e straordinari. »

CAPITOLO III.

Colori della luce polarizzata.

459. *Tinte colorate delle lamine paralelle all'asse.* — Un fascio di luce bianca polarizzata si colora delle più vivaci gradazioni, quante volte *sotto certe condizioni* attraversa una lamina di sostanza birifrangente tagliata paralellamente all'asse.

Per istudiare questi fenomeni di coloramento, che sono tanto notevoli, adopereremo in preferenza l'apparecchio del Sig. Noremberg (*fig. 308*): la luce delle nubi o quella di una lampada è ricevuta sul cristallo non stagnato *g*, dove si polarizza; riflessa verso lo specchio *m* è da questo rimbalzata per propagarsi secondo l'asse dell'apparecchio dopo avere essa medesima attraversato il primo cristallo *g*. Questo fascio polarizzato viene in seguito osservato con un qualsiasi analizzatore, cioè con un secondo cristallo mobile *q* o con un vetro nero fisso *b* inclinato sotto l'angolo di polarizzazione, o con l'analizzatore *c* del Sig. Delezenne (che somiglia al precedente, ma riconduce il raggio nell'asse mercè una riflessione totale), o infine con una pila di cristalli *s*, una turmalina *r*, od un prisma birifrangente acromatizzato *e*. Tutti questi pezzi hanno una incastratura, che adattasi nell'anello *s* dove posson girare, e ciascuno di essi ha un segno, che dinota la sua posizione sulla circonferenza partita di questo anello. In *t* trovasi un altro anello parimente partito, sul qual si adatta l'incastratura di un vetro parallelo *v*, che può inclinarsi ad arbitrio sul raggio polarizzato od essergli perpendicolare; ed è sul sostegno *v* dove si dispongono le lamine, che si vogliono sottoporre all'esperimento: nondimeno in alcuni casi è mestieri di porle direttamente sopra lo specchio *m*.

Ora ecco i fenomeni che si osservano prendendo

per analizzatore il prisma birifrangente e ponendo sul sostegno una lamina di cristallo di rocca, le cui due facce siano parallele tra loro e parallele all'asse, e la cui doppiezza sia al di sotto di 0, 45 di millimetro.

1° Stando la sezione principale del prisma fissata nel piano primitivo di polarizzazione, mentre la lamina gira sul suo sostegno rimanendo perpendicolare al raggio polarizzato, una sola immagine bianca si vede in quattro posizioni: immagine ordinaria quando la sezione principale della lamina coincide con quella del prisma; immagine straordinaria, quando le divien perpendicolare; in tutte le altre posizioni vi son due immagini sempre colorate delle stesse gradazioni e sempre esattamente di compimento, dando esse bianco perfetto nella porzione, in cui si sovrappongono (*fig. 324*); queste due immagini acquistano ad un tempo il lor più vivo splendore di coloramento, quando la sezione principale della lamina fa con quella del prisma angoli di $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{8}$ ovvero $\frac{7}{8}$ quadranti.

2° Se la sezione principale del prisma è perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione, si osservano de'fenomeni analoghi, se non che l'immagine ordinaria prende il luogo dell'immagine straordinaria e *viceversa*.

3° Quando la sezione principale del prisma non è nè parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione primitiva, si osservano gli stessi fenomeni ancora, cioè: un'immagine nulla e l'altra bianca, quando le due sezioni principali del prisma e della lamina sono parallele o perpendicolari tra loro; *maximum* di splendore ne'colori, quando le sezioni fanno un angolo misurato da un numero dispari di semi-quadranti; e sempre le stesse gradazioni più o meno affievolite in tutte le posizioni intermedie.

Le lamine di cristallo di rocca più doppie di circa un mezzo millimetro non danno altro che debolissime tinte; ma tutte le lamine più o meno sottili danno gradazioni diverse, e che generalmente sono tanto più vivaci, quanto la doppiezza è minore. Studiando le frange diffratte e gli anelli colorati, abbiam veduto che

per ciascun colore semplice vi sono delle frange o degli anelli del primo ordine, del secondo ordine, ecc., a cui corrispondono nella luce bianca delle diverse tinte composte; il che produce rossi di differenti ordini, aranci di differenti ordini, ecc. Ora, studiando le tinte delle lamine cristallizzate della stessa sostanza e di doppiezza variabile, il Sig. Biot ha riconosciuto che questi stessi periodi si riproducono, cioè che graduando le doppiezze convenevolmente si può formare una serie di lamine, che danno per esempio: la prima, il rosso del primo ordine; la seconda il rosso del secondo ordine; la terza, il rosso del terzo ordine; ecc.; e paragonando queste diverse doppiezze il Sig. Biot si è fatto certo ch'esse seguono la serie de' numeri naturali 1, 2, 3, 4, ecc. Con questa semplice e notevole legge ci basterà dunque il conoscere in una sostanza cristallina a qual doppiezza assoluta si formi una tinta ben definita, per assegnare qual tinta verrà prodotta da un'altra qualsivoglia doppiezza, ovvero qual doppiezza farebbe mestieri a produrre tale altra tinta determinata.

Possono riguardo a ciò offrire differenze grandissime i cristalli ad un asse; perocchè il Sig. Biot trova a cagion di esempio che una lamina di calce carbonata parallela all'asse dovrebb'esser 18 volte più esile di una lamina di cristallo di rocca anche parallela all'asse per dare la stessa tinta. Per questo è impossibile quasi di studiar tali fenomeni nella calce carbonata.

460. *Teorica di Fresnel su' colori delle lamine cristallizzate.* — Sia *pp'* il piano primitivo di polarizzazione del fascio incidente (*fig. 309*), *ll'* la sezione principale della lamina cristallizzata ch'esso attraversa, *a* l'angolo *pcl*, *mm'* una perpendicolare ad *ll'*, *rr'* la sezione principale del prisma birifrangente, *b* l'angolo *rcp*, e *dd'* una perpendicolare ad *rr'*. Ora tentiamo di determinare e le immagini che saranno prodotte, e la loro intensità relativa, e la scambievole azione che i fasci ordinari e straordinari eserciteranno gli uni su gli altri.

Rappresentiamo con 1 l'intensità del raggio pola-

rizzato nel momento che cade sopra la lamina cristallizzata.

Attraversando la lamina, il fascio si decompone in due altri l'uno ordinario e l'altro straordinario, che hanno per intensità,

il primo. . . . . $\cos.^2 a = f_o$ polarizzato secondo cl;
il secondo . . . $\text{sen.}^2 a = f_e$ polarizzato secondo cm';

ma la lamina è moltissimo esile, perchè siavi una sensibile separazione fra loro.

Attraversando il romboide, ciascuno di questi fasci elementari si decompone in due altri ancora:

$$\cos.^2 a \text{ dà } \begin{cases} \cos.^2 a \cos.^2 (a - b) = f_o + o' \text{ polarizzato secondo } cr \\ \cos.^2 a \,\text{sen.}^2 (a - b) = f_o + e' \text{ polarizzato secondo } cd \end{cases}$$

$$\text{sen.}^2 a \text{ dà } \begin{cases} \text{sen.}^2 a \,\text{sen.}^2 (a - b) = f_o + o' \text{ polarizzato secondo } cr \\ \text{sen.}^2 a \cos.^2 (a - b) = f_e + e' \text{ polarizzato secondo } cd'. \end{cases}$$

Le due porzioni polarizzate secondo cr acquistano la stessa direzione per giungere all'occhio e compongono l'immagine ordinaria; lo stesso è delle due porzioni polarizzate secondo cd e cd', che compongono l'immagine straordinaria. Adunque ne risultano i seguenti elementi.

$$\text{per l'immagine ordinaria } \begin{cases} \cos.^2 a \cos.^2 (a - b) = f_o + o' \\ \text{sen.}^2 a \,\text{sen.}^2 (a - b) = f_e + o' \end{cases}$$

$$\text{per l'immagine straordinaria } \begin{cases} \cos.^2 a \,\text{sen.}^2 (a - b) = f_o + e' \\ \text{sen.}^2 a \cos.^2 (a - b) = f_o + e' \end{cases}$$

Crederebbesi dapprima che gli elementi di ciascuna di queste immagini si debbono soltanto aggiungere fra di loro per comporre definitivamente o l'immagine

ordinaria o la straordinaria: ma si vuole considerare che i due elementi di ciascuna immagine non hanno la stessa velocità. Difatto nell'immagine ordinaria per esempio il fascio $f_o + o'$ ha sofferto la rifrazione ordinaria nella lamina e nel romboide, mentre il fascio $f_e + o'$ ha sofferto la rifrazione straordinaria nella lamina e l'ordinaria nel romboide. Essendo diverse le velocità ordinaria e straordinaria, ne risulta adunque un avvanzo o un ritardamento dell'uno de' fasci elementari sull'altro, e quindi una concordanza od una discordanza di vibrazioni, che possono esser più o meno compiute, come se questi fasci avessero percorso realmente cammini più o men disuguali.

Sia e il cammino percorso dal 1° fascio f o $+$ o', sia e' il cammino percorso dal 2° fascio f e $+$ o';

$e - e'$ sarà la differenza de' cammini percorsi; e Fresnel ha dimostrato in tal caso (*Ann. di Fis. e di Chim.* t. 2, p. 258) che l'intensità totale invece di esser rappresentata dalla somma de' fasci componenti o dalla somma de' quadrati delle loro velocità, trovasi rappresentata da questa somma, *più il doppio prodotto di queste velocità moltiplicato da* cos. $2\pi \frac{c}{d}$:

π è la semi-circonferenza, il cui raggio è 1
c è la differenza de' cammini percorsi, che qui è $e - e'$,
d è la lunghezza di un'ondulazione per la specie di luce che si considera.

Dietro di che facilmente si vede che l'intensità finalmente per l'immagine ordinaria diviene:

$$\cos.^2 b - \text{sen. } 2a. \text{ sen. } 2(a - b). \text{ sen.}^2 \pi. \left(\frac{e - e'}{d}\right)$$

L'intensità dell'immagine straordinaria si trova con gli stessi principi: se non che Fresnel ha dimostrato che alla differenza de' cammini percorsi da due fasci componenti *si deve aggiungere una semi-ondulazione*, quando *i loro piani di polarizzazione continuano ad allontanarsi l'uno dall'altro* (*considerati da un lato solo*

del loro comune intersecamento), *fino a che si siano collocati l'uno sul prolungamento dell'altro*. Ora i due fasci $fo + e'$ ed $fe + e'$, che costituiscono l'immagine straordinaria sono polarizzati l'uno secondo cd l'altro secondo cd' prolungamento di cd: adunque alla differenza $e - e'$ de' cammini percorsi nella lamina bisogna aggiungere una semi-ondulazione, che trovasi ancora perduta dal rovesciamento del piano di polarizzazione. In conseguenza alla somma delle intensità od alla somma de'quadrati delle velocità bisogna aggiungere il prodotto di queste velocità moltiplicato per

$$\cos. 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}+\frac{1}{2}\right)=-\cos. 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right);$$

il che dà per l'intensità dell'immagine straordinaria,

$$\cos.^2 a \operatorname{sen.}^2 (a-b) + \operatorname{sen.}^2 a \cos.^2 (a-b)$$
$$-2\cos. a \operatorname{sen.}(a-b).\operatorname{sen.} a \cos.(a-b).\cos. 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right),$$

ovvero,

$$(\operatorname{sen.} a \cos.(a-b) - \operatorname{sen.}(a-b)\cos. a)^2$$
$$+ 2\operatorname{sen.} a \cos.(a-b)\operatorname{sen.}(a-b)\cos. a$$
$$-2\cos. a \operatorname{sen.}(a-b)\operatorname{sen.} a \cos.(a-b)\cos. 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right),$$

o finalmente,

$$\operatorname{sen}^2 b + \operatorname{sen.} 2a \operatorname{sen.} 2(a-b)\operatorname{sen.}^2 \pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

Queste, dice Fresnel, sono le formole generali, che danno l'intensità di ciascuna specie di luce omogenea nelle immagini ordinaria e straordinaria facendo le veci della lunghezza di ondulazione e della differenza de'cammini percorsi $e-e'$ da'raggi, che hanno attraversato la

lamina cristallizzata. Conoscendo la sua doppiezza e le velocità de' raggi ordinari e de' raggi straordinari nel cristallo, si potrà di leggieri determinare $e - e'$. Nel cristallo di rocca e nella maggior parte de' cristalli dotati della doppia rifrazione, $e - e'$ non prova altro che lievissime variazioni in ragione della diversità di natura de' raggi luminosi; in modo che si può riguardarla come una quantità costante per tutt'i cristalli, in cui la *dispersione di doppia rifrazione* è picciolissima relativamente alla doppia rifrazione. Se dopo aver calcolato la differenza di cammino $e - e'$, la si divide successivamente per la lunghezza media di ondulazione di ciascuna delle sette principali specie di raggi colorati, e se successivamente si sostituiscono questi vari quozienti nelle summentovate espressioni, avrannosi le intensità di ciascuna specie de' raggi colorati nelle immagini ordinaria e straordinaria, ed allora si potranno determinare le tinte di siffatte immagini con la formola empirica, data dal Newton per rinvenire il colore risultante da un qualsivoglia miscuglio di raggi diversi, di cui non s' ignorano le intensità relative. Per questo si debbono considerare le formole generali, che danno l' intensità di ciascuna specie di luce omogenea, che fa le veci della sua lunghezza di ondulazione come l' espressione medesima della tinta prodotta dalla luce bianca.

Ora facciamo ritorno alle formole generali per discuterle in alcuni casi particolari.

Immagine ordinaria:

$$\cos^2 b - \text{sen } 2\,a \text{ sen. } 2\,(a - b) \text{ sen.}^2\, \pi \left(\frac{e-e'}{d}\right);$$

immagine straordinaria:

$$\text{sen}^2\, b + \text{sen. } 2\,a \text{ sen. } 2\,(a - b) \text{ sen.}^2\, \pi \left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

1° La somma delle intensità de' due fasci riproduce l' intensità primitiva, che si è presa per unità.

2° Sotto l' incidenza perpendicolare da noi qui considerata, la differenza de' cammini percorsi è in tutt'i cri-

stalli proporzionale alla doppiezza, ed inoltre in ciascun cristallo dipende dalla differenza delle velocità del raggio ordinario e del raggio straordinario, o degl' indici di rifrazione corrispondenti a queste due specie di raggi. In un cristallo, nel quale gl' indici sarebbero quasi eguali, una grande doppiezza farebbe mestieri ad ottener per esempio il rosso del primo ordine, mentre ad ottener la medesima graduazione sol una piccolissima doppiezza basterebbe, se gl' indici ordinario e straordinario fossero diversissimi.

3° Quando la differenza de' cammini percorsi è uguale ad un numero grandissimo di ondulazioni, le immagini sono bianche, siccome nella teorica delle lamine esili e per la stessa ragione. Eccetto questi casi le immagini possono essere anche bianche per altre ragioni, che di presente esamineremo.

4° La condizione necessaria perchè non vi sia color nelle immagini, è manifestamente che il termine, che varia con la lunghezza delle ondulazioni, sia nullo, dappoichè allora i raggi di tutt' i colori avranno intensità uguali e produrranno bianco. Adunque la condizione della bianchezza delle immagini è espressa da

$$\text{sen. } 2\,a \text{ sen. } 2\,(a - b) = 0\,;$$

nè può essere adempiuta se non da

$$a = 0\,,\ a = 1\pi\,,\ a = 2\pi\,,\ a = 3\pi\,,$$

$$b = a\,,\ b = 1\pi + a,\ b = 2\pi + a,\ b = 3\pi + a.$$

Adunque le immagini son sempre bianche: primamente quando la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione; in secondo luogo quando la sezion principal della lamina è parallela o perpendicolare alla sezione principale del romboide. Il che potevasi di leggieri vedere *a priori*; dappoichè il fascio nel primo caso prova una sola rifrazione attraversando la lamina, e prova nel secondo una rifrazione sola attraversando il romboide.

5° La condizione necessaria, perchè le immagini siano colorate delle più vive graduazioni, è chiaramente che il termine, il qual varia con le lunghezze di ondulazione, giunga al suo *maximum*, il che accade, quando il suo coefficiente è uguale all'unità, ovvero quando si ha:

$$\text{sen. } 2\,a\; 2(a - b) = 1.$$

Questa condizione è adempiuta da

$$a = 45^\circ, \text{ e } b = 0^\circ;$$

il che dà:

immagine ordinaria, $\cos.^2 \pi \left(\frac{e - e'}{d}\right)$,

immagine straordinaria, $\text{sen.}^2 \pi \left(\frac{e - e}{d}\right)$.

Sicchè i colori più vivi si osservano, quando l'asse della lamina fa un angolo di 45° col piano primitivo di polarizzazione, e quando nel tempo stesso la sezione principale del romboide è parallela a tal piano. Gli è di fatto quanto viene dall'esperienza rifermato.

6° Il *piano definitivo* di polarizzazione può essere agevolmente determinato di un modo generico nell'una e nell'altra immagine.

Se la differenza de' cammini percorsi è uguale a 0° o ad un numero pari di semi-ondulazioni, si ha:

$$e - e' = \frac{2nd}{2}, \text{ ovvero } \frac{e - e'}{d} = n.$$

Potendo n ricevere tutt'i valori interi 0, 1, 2, ecc., si ha:

$$\text{sen.}^2 \pi \left(\frac{e - e'}{d}\right) = \text{sen.}^2\, n\,\pi = 0.$$

Sicchè per $b = 0$ l'immagine straordinaria svanisce, mentre l'ordinaria diventa uguale ad 1, e questa è allora nella sua emergenza compiutamente polarizzata nel piano primitivo di polarizzazione.

Se la differenza de' cammini percorsi è uguale ad un numero dispari di semi-ondulazioni, si ha:

$$e - e' = (2n + 1)\frac{d}{2},$$

ovvero $$\frac{e - e'}{d} = \left(\frac{2n + 1}{2}\right),$$

e $$\text{sen.}^2 \pi \left(\frac{e - e'}{d}\right) = \text{sen.}^2 \pi \left(\frac{2n + 1}{2}\right) = 1.$$

Sicchè per $b = 2a$ l'immagine straordinaria sparisce eziandio, mentre l'ordinaria diventa uguale ad 1; e questa trovasi allora nella sua emergenza compiutamente polarizzata nell'azimut $2a$ o nella principal sezione del romboide.

Se la differenza de' cammini percorsi non è nè un numero pari nè un numero dispari di semi-ondulazioni; non vi sono più immagini che possano scomparire, ed allora i fasci emergenti sono polarizzati in diversi sensi.

Tutt'i risultamenti delle formole sono in fatti conformi alle sperienze.

Queste nozioni sono bastanti a fare intendere i princìpi semplici ad un tempo e fecondi, su' quali Fresnel ha fondato la sua bella teorica de' colori delle lamine cristallizzate. Nè noi intraprenderemo di applicare questi princìpi medesimi a' casi ben più intralciati, che tuttavia ci rimangono ad esaminare; ma importa il descrivere la cagione verace di tai fenomeni ed il mostrare che la disuguale velocità de' raggi ordinario e straordinario determina degli avvanzi o de' ritardi fra le varie ondulazioni, e quindi delle interferenze, che sviluppano i colori.

Noi per maggiore semplicità abbiamo supposto il

cristallo ad un asse, dappoichè ne' cristalli a due assi i fenomeni succedono allo stesso modo: se non che la linea *ll'* (*fig. 309*) debbe allora esser *l'asse principale;* cioè la linea, che divide in due parti eguali l'angolo acuto de' due assi; e la linea *mm'* debb'essere l'*asse secondario* o la linea, che divide il loro angolo ottuso. La linea perpendicolare all'asse principale ed al secondario si addimanda eziandìo *asse terziario*; e ne dovremo tenere più appresso ragione. Solo qui aggiungeremo che la calce solfata la quale ha i suoi due assi nel piano delle lamine, che tanto agevolmente si divide in sottili fogliette e dà risplendenti colori, è uno de' cristalli più acconci allo studio de' fenomeni, di cui si tratta.

Ancora aggiungeremo che, per osservar questi fenomeni con la luce solare proiettando le immagini sopra una tavola, ci basta adattare all'imposta della camera nera l'apparecchio rappresentato nella figura 312, il qual somiglia al microscopio solare; dappoichè al par di esso è composto di uno specchio riflettente *a*, di una lente *b* di 22 centimetri di foco, ed anche alcune volte di una terza lente *c* di un foco molto più corto. La luce in generale è bastantemente polarizzata dalla riflessione sullo specchio *a*; la lamina incastrata sopra un diaframma la riceve prima della sua incidenza sopra la lente *b*, e la lente *c* posta quasi ad un'egual distanza dalla somma delle distanze focali principali di *b* e di *c*, tramanda l'immagine sopra una tavola; allora ci basta di mettere in *d* un prisma birifrangente e di girarlo convenevolmente per osservar sulla tavola tutt'i fenomeni da noi descritti.

461. *Anelli colorati ne' cristalli ad un asse.* — Allorchè fra due turmaline si alloga una piastra di spato d'Islanda perpendicolare all'asse, avente 1 a 20 o 30 millimetri di doppiezza, e che si guarda contro lume situando l'occhio dietro la seconda turmalina, si osservano i luminosi fenomeni rappresentati nelle figure 325, 326 e 327: se le turmaline sono incrocicchiate, vedrassi la croce nera (*fig. 325*) ed una bella serie di anelli

vivacemente colorati; se le turmaline son parallele, vedrassi la croce bianca (*fig. 327*) e degli anelli compimenti de' precedenti; se da ultimo le turmaline sono oblique soltanto, si vedrà (*fig. 326*) la croce nera alterarsi, gli anelli smoversi, ed il rovesciamento compiersi a poco a poco per passare della figura 325 alla figura 327 o *vice versa*, secondochè si passa dall'incrociamento al parallelismo o da questo a quello. Quanto alla posizione proprio della piastra la è indifferente del tutto: la sua rotazione non modifica di nessuna maniera i fenomeni, fuorchè se non offra de' punti di una cristallizzazione irregolare.

Quando le turmaline vengono illuminate dai vari colori dello spettro, o quando si pongono dinanzi agli occhi de' vetri, che non fanno passare se non il rosso, il turchino, il verde od il violetto, tutti gli altri colori spariscono, siccome si poteva aspettare, nè allora si discerne altro fuorchè una serie di anelli alternamente neri e colorati della semplice luce incidente, poi una croce nera nel caso dell'incrociamento delle turmaline ed una croce colorata allo stesso modo nel loro parallelismo. I diametri degli anelli crescono insieme con la rifrangibilità della luce, che li produce. La grandezza assoluta degli anelli diminuisce, siccome la piastra cresce in doppiezza; ed essi terminano col disparire, quando la piastra è molto doppia: nondimeno, quando si cessa di vederli con la luce bianca, si possono discernere ancora con la lampada monocromatica, cioè con la fiamma giallo-paglina dell'alcool salato; se non che allora sono piccioli e molto ristretti.

Consimili fenomeni si osservano in tutt'i cristalli ad un asse, come il cristallo di rocca, la turmalina, il zircone, il nitrato di soda, la mica, l'ipo-solfato di calce, l'apofilite, ecc., ecc.; ma pure dobbiamo osservare che forse fra tutt' i cristalli lo spato d'Islanda è quello, che dà le apparenze più regolari e più semplici. Nel cristallo di rocca per esempio (*fig. 328*) la croce sparisce per l'effetto della *polarizzazione circolare*, di cui parleremo più in là; in altri cristalli ad un asse, come

l'apofilite, l'ordinamento de' colori è alterato, dappoichè accade senza dubbio che l'asse ottico de' vari colori non sia strettamente nella posizione medesima.

Ne' casi più semplici il fenomeno degli anelli facilmente si liga alla precedente teorica di Fresnel: ma trattandosi di discutere il caso generico, troppo s'intrigano i calcoli, perchè ci sia lecito di esporli qui: nè da un'altra parte si sono fatte bastanti esperienze sull'esatte misure degli anelli ne' diversi colori per verificare in tutte le applicazioni la teorica. Adunque noi ci dobbiamo limitare ad indicare in un modo generico l'azione che si sviluppa ne' cristalli perpendicolari all'asse, e che danno così origine ai colori.

Sia *pp'* (*fig. 310*) la piastra perpendicolare all'asse, ed *o* la posizione dell'occhio. La parte del fascio incidente, che diventa visibile, forma una specie di cono luminoso *b o b'*, il cui vertice *o* è nell'occhio, la cui base circolare ha un diametro *bb'* variabile con la distanza, ed il cui asse *co* coincide con l'asse del cristallo. I diversi raggi di questo cono provano diversissimi effetti: quelli, che sono prossimi all'asse *co*, attraversano la piastra senza deviarsi; e quelli, che si trovano vicino gli orli *abo*, la traversano obbliquamente, e sono per conseguenza sottoposti alle due rifrazioni ordinaria e straordinaria; ma queste due rifrazioni si compiono sempre nello stesso piano; dappoichè ogni sezione perpendicolare, passando per *co*, è una *sezione principale*; dippiù i diversi raggi ugualmente lontani dall'asse, o ripartiti su di una stessa circonferenza, ben diverse modificazioni provano ne' loro piani di polarizzazione; dappoichè rappresentandosi con *d b d' b'* (*fig. 311*) il taglio del fascio nel punto ch'esce dalla piastra cristallizzata, e con *bb'* il piano primitivo di polarizzazione, chiaro è: 1° che i raggi *b* e *b'* rimangono polarizzati nel piano primitivo, conciossiachè il loro piano di polarizzazione coincide con la sezione principale *bb'* ch'essi attraversano; 2° che i raggi *d* e *d'* rimangono parimente polarizzati nel loro piano primitivo, conciossiachè il piano loro di polarizzazione è perpendicolare

alla sezione dd' ch'essi attraversano, 3° che i raggi, come f', si separano in altri due: l'uno ordinario polarizzato secondo f' h; l'altro straordinario polarizzato secondo f' k. Ora separandosi questi ultimi raggi in tal guisa, necessariamente acquistano diverse velocità: l'ordinario guadagna sullo straordinario o *viceversa*, secondo che il cristallo è positivo o negativo; ed allontanandosi di mano in mano dall'asse c, si vedrà che questo avvanzo diventa successivamente uguale ad un numero pari o dispari di semi-ondulazioni. Or quando si va con la turmalina a guardare un fascio così modificato, è facile il vedere che ne deggiono risultare degli anelli ed una croce nera o bianca, secondo che la sezione principale della turmalina è parallela o perpendicolare al piano primitivo bb' di polarizzazione. Per determinar precedentemente l'ordine delle tinte e la grandezza assoluta degli anelli basterebbe sapere la posizione dell'occhio, la doppiezza della piastra, e le velocità ordinaria e straordinaria corrispondenti a ciascuna specie di luce semplice.

Queste indicazioni bastano a fare intendere la cagion del fenomeno e le condizioni principali, sotto cui si compie.

Ora si scorge quanto sia agevole il variare gli esperimenti o con la luce ordinaria ricevendo gli anelli nell'occhio, o con la luce solare proiettandoli su di una tavola. Nel primo caso se non si tratta di prender misure, si fa uso della mollette di turmalina (*fig. 313*); se di prender misure, si può con vantaggio adoperar l'apparecchio del Sig. Soleil figlio (*fig. 315*). La luce polarizzata dal cristallo a è concentrata da una lente b sulla lamina l; due altre lenti c e d servono di oculare, e guardasi con la turmalina t; le tre lenti b, c e d hanno la stessa distanza focale di tre centimetri; l'intervallo delle ultime due è alquanto minore della somma delle loro distanze focali, e la lamina sta ad un tempo nel foco di b e di c. Sicchè d è un cannocchiale, col qual si guarda l'immagine reale degli anelli formata nel foco di c: un micrometro convenevolmente situato tra le due ulti-

me lenti può dar misure abbastanza esatte. La mollette *p*, che porta il cristallo, ha un moto di rotazione su di un cerchio partito, che serve a misurar l'angolo degli assi ne' cristalli a due assi, siccome di qui a poco vedremo.

Per far questi esperimenti col mezzo della luce solare si adopera l'apparecchio della figura 312: la lamina sottoposta alla prova e la turmalina, che dee raddrizzare i piani di polarizzazione, allora si situano entrambe accanto al foco comune delle lenti *b* e *c*, e gli anelli si vanno a proiettare, come le immagini del microscopio solare, sopra una tavola convenevolmente disposta.

462. *Anelli colorati ne' cristalli a due assi.* — Quando fra le due turmaline si mette una lamina di nitrato di potassa tagliata perpendicolarmente all' asse di cristallizzazione, si osservano i fenomeni rappresentati nelle figure 330 *a*, *b*, *c*: si ottiene la figura 330 *a*, quando gli assi delle turmaline sono incrocicchiati, avendo il cristallo anch'esso una convenevole posizione: poi girando il cristallo a poco a poco senza smuovere le turmaline, si ottiene successivamente la figura *b*; per giungere infine alla figura *c*, quando il cristallo ha descritto un arco di 45°; ed alla figura orizzontale *a*, quando ha fatto un quadrante.

Il Sig. Herschell, che ha studiato questi fenomeni con sagacia pari alla precisione, ha mostrato che ne' cristalli a due assi i colori sono distribuiti sopra *lemniscate*, cioè sopra curve a due centri (*fig. 314*), godendo di questa proprietà, che per ciascuna il prodotto de' raggi vettori *cm* e *c' m* è costante ed uguale al prodotto della semi-distanza de' centri per un coefficiente conosciuto, che varia da una curva all' altra.

Qui il doppio sistema di anelli è prodotto manifestamente da' due assi del cristallo, ed il centro di ogni sistema indica il prolungamento dell' asse, intorno a cui si produce.

Facendo l' esperienza con la lampada monocromatica si possono noverare di assai più curve intorno ad ogni centro.

L' apparecchio della figura 315 può servir a trovar

l'angolo de'due assi: al che basta di mettere un filo incrocicchiato nel foco della lente *d*, di disporre il cristallo, perchè i due centri degli anelli siano in un piano verticale, e di far girare la mollette per condurre ciascun centro l'un dopo l'altro sulla croce dei fili; l'arco descritto dalla mollette è l'angolo degli assi.

Il carbonato di piombo dà quasi le stesse apparenze del nitrato di potassa: le sue lemniscate ed i suoi colori sono rappresentati nella figura 331; l'angolo dei suoi assi è 17° 30'. Allorchè l'angolo degli assi è maggiore di 20 ovvero 25° non si possono più vedere ad un tempo i due sistemi di anelli nel campo dell'istrumento, e nemmeno nella mollette di turmalina; l'unico sistema visibile allora si mostra sotto la forma disegnata nella figura 329; la sbarra nera gira in senso inverso del cristallo e descrive 90° mentr'esso ne descrive 90; di modo che basta un quarto di rivolgimento a farlo passare dalla posizione orizzontale alla verticale e *viceversa;* o piuttosto dal piano, che contiene ad un tempo il piano di polarizzazione e l'asse della turmalina nel piano che gli è perpendicolare. In ambedue tali posizioni il secondo centro si trova sulla sbarra nera, e quivi bisogna cercarlo facendo girare la mollette; ma, siccome questa gira solo d'intorno ad un asse orizzontale, bisogna mettere la sbarra verticale per determinare l'angolo degli assi.

Con lo stesso apparecchio si può ancora comprovare, che in quasi tutt'i cristalli a due assi i diversi colori semplici hanno assi diversi: per esempio nel carbonato di piombo i sistemi di assi di tutt'i colori sono nel medesimo piano, e l'angolo loro decresce dal rosso fino al violetto; nel nitrato di potassa al contrario gli assi contenuti anche nel medesimo piano fanno tra loro angoli, che crescono con la rifrangibilità; da ultimo in certi cristalli, come il borace, i sistemi di assi de'diversi colori sono in piani diversi. Ben s'intende che queste particolari proprietà de'vari cristalli deggiono addurre considerevoli modificazioni nell'ordinamento de'colori, ed un intralciamento grandissimo nell'analisi teorica di tutti questi fenomeni, perchè qui ci si renda possibile di farne motto.

I colori brillanti, che si sviluppano, come dicemmo testè, ne' cristalli a due assi, si possono ottenere ancora con la luce solare, siccome poco dianzi abbiamo indicato pe' cristalli ad un asse.

463. *Frange iperboliche o parallele prodotte dai cristalli.* — Quando ad un raggio polarizzato si offre una lamina di cristallo di rocca, una faccia della quale sia parallela all'asse e l'altra alquanto inclinata, in modo da formare un prisma allungatissimo, ad occhio nudo si osservano delle strisce rosse e verdi, purchè si guardi un pò da lungi, e la doppiezza del prisma nel vertice suo non oltrepassi un terzo o la metà di un millimetro. Queste strisce parallele son più vivaci, quando si guardano con la turmalina, ed è agevole a riconoscere ch'esse giungono fino al loro *maximum* di splendore, quando la sezione principale del prisma fa col piano di polarizzazione un angolo prossimo a 45°. E questo fenomeno è nel numero di quelli da noi già descritti e di cui abbiamo indicato la teorica.

Il Sig. Delezenne, il quale ha fatto su tal soggetto un gran numero di osservazioni importantissime (*Società delle Scienze di Lilla*), ha dimostrato che tutt'i cristalli ad un asse, tagliati in lamine a facce parallele all'asse di una convenevol doppiezza, danno nelle circostanze medesime non più strisce parallele, ma quattro sistemi di strisce iperboliche moltissimo distinte, quando si osservano con la fiamma dell'alcool salato, comechè nulla di percettibile si potesse osservare con la luce bianca ordinaria.

Allorchè invece di sottoporre all'esperienza un solo cristallo, si prendono per esempio lamine di cristallo di rocca doppie sette in otto millimetri, lievemente prismatiche, parallele all'asse e poste l'una sull'altra in modo, che gli assi siano *incrociati* (*fig. 316*), e si osservano ancora quattro sistemi di strisce iperboliche perfettamente regolari (*fig. 332*); ma ei bisogna per questo dopo aver posto i due prismi nella mollette di turmalina accostar vicinissimo l'occhio; dappoichè appena si

guarda ad una distanza alquanto grande le iperboli degenerano in strisce parallele (*fig. 333*).

Anche le lamine obbliquе all'asse col loro incrociamento presentano strisce analoghe: così, quando si è lavorata una lamina di cristallo di rocca quattro o cinque millimetri doppia, di modo che le sue facce siano ben parallele tra loro, e parallele all'una delle facce della piramide, che ordinariamente termina i cristalli naturali, e di poi questa lamina si taglia per soprapporne le due metà incrociando la linea di sezione; il sistema, che ne risulta, dà eziandio nella mollette di turmalina delle strisce parallele vivissime. Se queste strisce sono nel piano di polarizzazione della luce, che ha attraversato la prima turmalina, esse presentano nel mezzo una striscia nera fra due bianche, e si colorano poi da ciascun lato (*fig. 333 b*): il contrario accade, quando sono perpendicolari al piano primitivo di polarizzazione, conciossiachè allora si osservi una striscia bianca fra le nere, e tutt'i precedenti colori rovesciati (*fig. 333 b*).

E sopra questo fenomeno è fondato il polariscopio del Sig. Savart: questo apparecchio, sensibilissimo ad iscoprire le minime tracce di luce polarizzata si compone di due quarzi obbliqui ed incrocicchiati, di cui abbiamo parlato poco dinanzi, su' quali si aggiusta una turmalina, il cui asse divide in due parti uguali l'angolo delle sezioni principali de'due quarzi. Situando la turmalina dinanzi all'occhio, e guardando attraverso di questo sistema, si distinguono delle strisce non appena la luce incidente contiene alcune porzioni polarizzate. Allora basta vedere la direzione della striscia, quando è meglio distinta per aver la direzione del piano di polarizzazione. Io ho osservato che una pelle d'intestino *traslucida* posta dinanzi a'quarzi rende le strisce molto più apparenti.

Questo apparecchio è commodissimo per osservare la polarizzazione della luce atmosferica.

Le lamine tagliate perpendicolarmente all'asse danno anche delle frange consimili, quando sono disposte, come nell'apparecchio della figura 323 per essere ad arbitrio inclinate sul raggio polarizzato.

464. *Polarizzazione circolare.* — Fresnel ha dato il nome di polarizzazione circolare ad un fenomeno, ch'era stato in prima osservato dal Sig. Arago nelle piastre di cristallo di rocca tagliate perpendicolarmente all'asse, ed il quale studiato in appresso dal Sig. Biot ha dallo stesso ricevuto una delle più importanti estensioni per la scienza.

Il fenomeno, di cui si tratta, si può osservare in questo modo:

Sul sostegno *v* dell'apparecchio descritto (*fig. 308*), si pone una piastra di cristallo di rocca perpendicolare all'asse, avente una doppiezza compresa tra 1 e 20 ovvero 30 millimetri; e col prisma birifrangente si osserva il raggio polarizzato che l'attraversa. Allora si veggono due immagini colorate vivamente di colori di compimento (*fig. 324*), poi facendo girare il prisma i colori cangiano camminando verso l'una o l'altra estremità dello spettro senza cessar di essere di compimento. Se per esempio la piastra dà il verde, quando la sezione principale del prisma è nel piano primitivo della polarizzazione, vedrassi passar dal verde al turchino, all'indaco, ecc., girando verso la destra il prisma (*fig. 334*): mentre per un'altra piastra verde sarà mestieri all'opposito volgere il prisma a sinistra per ottenere gli stessi risultamenti.

Se invece di operar con la luce bianca si opera con la luce omogenea, si ravvisa per mezzo del prisma analizzatore o di una turmalina che il raggio dopo avere attraversato la piastra è tuttavia polarizzato; ma il suo piano di polarizzazione è rimosso, esso ha girato di un certo numero di gradi verso dritta o verso sinistra. Sicchè sotto l'incidenza perpendicolare il cristallo di rocca perpendicolare all'asse ha la proprietà di far girare il piano di polarizzazione; certe mostre facendolo girare a destra ed altre a sinistra.

La qual proprietà si manifesta pure con la luce solare bianca od omogenea: ci basta per dimostrarlo esporre dinanzi alla prima lente le piastre nel descritto apparecchio (*pagina 66, fig. 312*).

Il Sig. Biot studiando questi fenomeni ha ottenuto le seguenti leggi:

1° Per tutte le piastre tratte da uno stesso cristallo la rotazione del piano di polarizzazione è proporzionale alla doppiezza;

2° O che un cristallo giri a dritta o che giri a sinistra la stessa doppiezza dà quasi la stessa rotazione;

3° La rotazione cresce ne' diversi colori con la rifrangibilità; e per una piastra di un millimetro gli angoli di rotazione sono questi:

Rosso estremo	17° 30'	Limite del turchino . .	30° 3'
Limite dell'arancio . .	20° 29'	— dell'indaco. . . .	34° 34'
— del giallo	22° 19'	— del violetto . . .	37° 52'
— del verde	25° 40'	Violetto estremo . . .	44° 5'

Sicchè, quando si guarda il fascio ad occhio nudo, apparisce bianco; ma quando si mira con un analizzatore qualunque essendo i piani di polarizzazione delle diverse luci semplici diversissimi, bisogna che si dividano disugualmente fra le due immagini e che per conseguenza offrano queste immagini de'vivi colori ed esattamente di compimento (*fig. 334*).

Il Sig. Herschell ha osservato che nella varietà di quarzi detta *plagiedro*, il senso dell'inclinazione delle faccette determina il senso della rotazione.

Il Sig. Brewster ha osservato pure che in certe mostre di amatiste vi sono de'siti che fanno girare a dritta ed altre a sinistra; il che dà una notevolissima complicazione di colori.

465. *Nozioni teoriche.* — Prima di procedere avanti dobbiamo studiarci di dare un'idea della causa assegnata a questi fenomeni da Fresnel.

Egli suppone che le vibrazioni luminose seguano nel senso stesso della superficie delle onde perpendicolarmente alla direzione de'raggi, e che un fascio polarizzato è quello, pel quale esse vibrazioni han sempre la direzione medesima, essendo il suo piano di polarizzazione quello, al qual questi piccoli movimenti oscillatori delle molecole eteree rimangono costantemente per-

pendicolari: ora da ciò procede che, se i due sistemi di onde di uguale intensità e rettangolarmente polarizzati, cioè i cui moti oscillatori sono perpendicolari tra loro, differiscono nel cammino loro di un quarto di ondulazione, il moto composto, che imprimono a ciascuna molecola invece di esser rettilineo come ne' due fasci separatamente considerati, sarà circolare e si eseguirà con una celerità uniforme: le molecole gireranno da dritta a sinistra, quando il sistema di onde dinanzi avrà il suo piano di polarizzazione a dritta di quello del sistema di onde di dietro di un quarto di ondulazione, e gireranno da sinistra a dritta, quando il primo piano sarà a sinistra del secondo, o quando, rimanendo i piani di polarizzazione disposti come nel primo caso, la differenza di cammino sarà uguale a tre quarti di ondulazione, se la differenza di cammino invece di essere un numero pari o dispari di quarti di ondulazione, fosse un numero frazionario; i movimenti vibratori non sarebbero nè rettilinei nè circolari, ma ellittici.

Ben s'intende che, in questa rotazione generica delle molecole intorno alle loro posizioni di equilibrio, esse non occupano nello stesso momento gli stessi punti delle circonferenze da loro descritte, considerato il movimento progressivo delle onde. Per rappresentarsi le loro posizioni relative bisogna concepire che quelle, che erano su di una medesima retta parallela al raggio nello stato di equilibrio, ora si trovano situate sopra un'elica ristrettissima descritta intorno di tale retta siccome un asse, ed il cui passo è uguale alla lunghezza di un'ondulazione. Se ora fassi girar quest' elica intorno al suo asse con un moto uniforme, in guisa che descriva una circonferenza nell'intervallo di tempo, in cui si compie una ondulazione luminosa, e che da un altro lato si concepisce che in ciascun tagliuolo infinitamente sottile perpendicolare al raggio, tutte le molecole eseguono gli stessi movimenti, e serbano le stesse rispettive situazioni, si avrà un'immagine esatta del genere di vibrazioni, che costituisce la polarizzazione circolare.

Ma dalla teorica meccanica delle interferenze risulta

eziandìo che un sistema di onde polarizzato *rettilineamente* può essere sostituito da due altri sistemi polarizzati ad angolo retto fra di loro e coincidenti nel loro cammino. Di più anche ciascuno di questi può essere sostituito da due altri sistemi polarizzati nel medesimo piano, aventi su di esso l'uno un avvanzo di un ottavo e l'altro un ritardo di un ottavo di ondulazione, e quindi fra lor separati da un quarto di ondulazione; il che dà quattro sistemi di onde di uguale intensità, due de'quali polarizzati ad angolo retto sono indietro di un quarto di ondulazione dagli altri due polarizzati pure ad angolo retto. Se ora si prendono questi sistemi per combinarli *in croce*; cioè ciascuno di quelli, che stanno indietro con quello, che sta davanti, e polarizzato ad angolo retto con esso, si vedrà che avrannosi precisamente due fasci uguali concordi tra loro e circolarmente polarizzati, uno da dritta a sinistra e l'altro da sinistra a dritta.

Sicchè definitivamente ogni fascio d'intensità uguale ad 1 e *rettilineamente* polarizzato può essere sostituito sempre da due fasci polarizzati *circolarmente* concordi tra loro, aventi ognuno un'intensità $\frac{1}{2}$, e che girano l'uno da sinistra a dritta e l'altro da dritta a sinistra. Reciprocamente un sistema di due fasci polarizzati *circolarmente* riproduce sempre un fascio *rettilineamente* polarizzato in un piano unico, ma con questa condizione indicata dalla teorica, che, se i fasci polarizzati cirlarmente acquistano nel loro tragitto alcuna diversità di cammino, il piano di polarizzazione del fascio polarizzato *rettilineamente*, che li può sostituire, avrà girato da dritta a sinistra o da sinistra a dritta di un angolo proporzionale alla differenza di cammino. La rotazione avrà luogo da diritta a sinistra o da sinistra a dritta, secondochè il fascio polarizzato circolarmente da sinistra a dritta avrà acquistato avvanzo o provato ritardo.

Dietro le quali nozioni è chiaro che, se in natura si rinviene qualche sostanza, la qual goda la notevole proprietà di trasmettere con velocità diverse i fasci polarizzati circolarmente da dritta a sinistra, e quelli polarizzati da sinistra a dritta, ogni fascio polarizzato rettilinea-

mente attraversando queste sostanze dovrà sperimentare un moto di rotazione nel suo piano di polarizzazione: questo moto seguirà in un senso o nell'altro, secondochè l'uno de' sistemi avrà preso avvanzo o sofferto ritardo; sarà proporzionale alla doppiezza della sostanza attraversata; e da ultimo secondo certe leggi dipenderà dalla lunghezza delle ondulazioni della luce.

Questa è la spiegazione data da Fresnel de' fenomeni, che presenta il cristallo di rocca perpendicolare all'asse. Per averne la chiave, tutto, come si vede, riducesi ad intender bene che un fascio polarizzato *rettilineamente* può esser sostituito da un sistema di due fasci polarizzati *circolarmente* in senso contrario, e ad ammetter che di questi due sistemi l'uno proceda più celeremente dell'altro, quando attraversano certi corpi.

Questo secondo punto poteva parere del tutto ipotetico; anche Fresnel ha posto ogni cura nel dimostarlo in un modo diretto, e vi è giunto con un'esperienza decisiva, ch'è la seguente.

Doppia rifrazione del cristallo di rocca nel senso del suo asse. — Il cilindro *a b c d* (*fig. 317*) è composto di 3 prismi di cristallo di rocca separatamente lavorati, ed aggiustati quindi con molta cura. Quello del mezzo *a s b* ha il suo angolo nel vertice *s* di 152°; esso è tirato da un ago di quarzo, il quale fa girare per esempio il piano da dritta a sinistra e le due sue facce laterali *as* ed *sb* sono egualmente inclinate sull'asse. I due prismi estremi *das* e *cbs* sono tirati da un ago di quarzo, che fa girare il piano in senso contrario, cioè da sinistra a dritta; essi hanno le loro facce *ad* e *cb* esattamente perpendicolari all'asse, e le loro facce *as* e *bs* convenevolmente inclinate, perchè gli assi ottici de' tre prismi si trovino nella stessa direzione. Ora se in questa direzione si fa passare un raggio polarizzato, si scorge ch'esso dividesi in due e dopo la sua emergenza dà due raggi divergenti. Adunque il cristallo di rocca esercita una doppia rifrazione nel senso del suo asse, la quale in niente somiglia quella, che ordinariamente succede nei quarzi e negli altri cristalli; conciossiachè i due fasci emer-

genti non diano nè l'uno nè l'altro veruna traccia apparente di polarizzazione: nondimeno ciascuno di essi, quando se ne fa l'analisi col prisma birifrangente, dà sempre due immagini bianche ed intense egualmente.

Questo fenomeno notevole è la prova diretta che i fasci circolarmente polarizzati in senso contrario non si propagano con la medesima velocità seguendo l'asse del cristallo di rocca, e che quello de' due, il qual va più celeremente ne' due prismi estremi, con più lentezza procede nel prisma di mezzo. Di fatto consideriamo il fascio polarizzato, che si presenta in *ad* come composto di due fasci polarizzati circolarmente in senso contrario e di accordo con essi. Se attraversando il prisma *ads* acquistano velocità diverse, diverse rifrazioni proveranno nel passaggio da *ads* in *asb*, e di tanto più differenti che qui debbono mutare ordine diventando più rapido il più lento e *viceversa*. Eccoli adunque divisi in tutto il tragitto di *asb*, ed, al passaggio di questo prisma nell'ultimo, *csb*, si dividono ancor di vantaggio, dappoichè il più rapido torna ad essere il più lento e *viceversa*. Adunque i due fasci emergenti non sono altro che i due fasci circolarmente polarizzati in senso contrario, che componevano il fascio polarizzato incidente, e che sono stati separati dalla disuguale velocità, che hanno dovuta acquistare ne' prismi opposti di quarzo.

Una prova novella ne troveremo in un'altra esperienza dovuta eziandio all'instancabile sagacia di Fresnel.

Polarizzazione e depolarizzazione prodotte da riflessioni totali successive. — *abcd* (*fig. 318*) è un parallelepipedo di vetro, i cui angoli acuti son di 54° circa e gli ottusi per conseguenza di 126°. Un fascio polarizzato entrando perpendicolarmente per la faccia *cb* prova due riflessioni totali in *p* ed in *s* sotto l'angolo di circa 54°, e poi va a riuscire perpendicolarmente per la faccia *ad*. Se il piano di polarizzazione di questo fascio fa un angolo di 45° col piano della doppia riflessione, ci si trova che dopo l'emergenza evvi apparentemente *depolarizzazione* compiuta, val dire che il fascio analizzato col prisma birifrangente dà in tutti i sensi due immagini bianche e d'uguale intensità.

Intanto la depolarizzazione è solamente apparente; questo fascio non è in realtà un fascio naturale, e ne differisce per due essenziali caratteri:

1° Esso riacquista la sua polarizzazione in un piano unico, quando gli si fanno provare due nuove riflessioni totali sotto lo stesso angolo in un secondo parellelepipedo simile al primo, qualunque sia la direzione del secondo piano di riflessione rispetto al primo. Se i due piani coincidono, il nuovo piano di polarizzazione coincide col primo:

2° Traversando lamine cristallizzate, esso sviluppa delle tinte, che hanno altri caratteri e sottoposti a leggi diverse da quelle date dalla luce naturale.

Da ultimo il fascio di cui si tratta è *polarizzato circolarmente*; esso è identico con uno dei fasci da noi ottenuti nella precedente esperienza col triplo prisma di quarzo. A provare tale identità, ei basta sottoporre i due fasci emergenti dal triplo prisma alla doppia riflessione nel parallelepipedo di vetro. Allora ciascuno di essi dà un fascio polarizzato; ma per uno il piano di polarizzazione fa 45° *a dritta* del piano di riflessione; e per l'altro 45° a *sinistra*. Il che mostra che sono polarizzati circolarmente ed in senso contrario.

466. *Polarizzazione circolare dei raggi obbliqui.* — In quel che precede abbiamo considerato soltanto i raggi, che attraversano il cristallo nel senso dell'asse: ma quando l'esperienze si dispongono per ricevere ad un tempo i raggi perpendicolari ed i raggi obbliqui, procedendo esattamente, come nell'osservazione degli anelli, che presentano i cristalli ad un asse o a due; vedonsi ancora nel cristallo di rocca, o con la luce delle nubi, o con la luce solare, belli sistemi d'anelli vivissimi e molto sviluppati: soltanto la croce nera è scomparsa nel centro, e vien sostituita dal cerchio colorato, che dalla polarizzazione circolare risulta; si osserva ancora che la croce nera, la qual taglia i primi anelli, è molto meno distinta, il che indica esservi tuttavia colà una influenza della polarizzazione circolare o piuttosto ellittica, siccome ha col fatto dimostrato il Sig. Airy (*Trans. di*

Cambridge 1832). Nondimeno restano a farsi osservazioni importanti per ligare teoricamente tutti questi fenomeni di colorazione.

Il Sig. Airy ha parimente dimostrato che, soprapponendosi due piastre della stessa tinta e della stessa doppiezza, una delle quali giri a dritta e l'altra a sinistra, gli effetti non sono totalmente distrutti ma in parte; il che dà nascimento a delle *spire* di una forma particolare (*fig. 335*). Il Sig. Noremberg avea pure osservato cotali spire, ed il suo apparecchio le produce in un modo notevole con un solo cristallo posto sullo specchio *m*, quando al di sopra del cristallo si presenta una lente in una distanza quasi uguale alla sua distanza focale. In tal caso le spire risultano dall'interferenza dei raggi, che hanno attraversato il cristallo una prima volta pria di giungere allo specchio, e da quelli, che lo attraversano la seconda volta dopo la riflessione, e che per conseguenza procedono, come se il cristallo girasse in senso contrario.

467. *Polarizzazione circolare nei liquidi e nei gas.* — Il cristallo di rocca è la sola sostanza solida, dove siasi osservata la polarizzazione circolare; ma il Sig. Biot ha scoverto tal proprietà in diversi fluidi; e studiandola è giunto a dei risultamenti, che tutta meritano l'attenzione dei Fisici e de' Chimici.

Noi qui possiamo soltanto sommariamente additare quelli di più gran momento.

Le sostanze che girano da *destra a sinistra*, sono: la *terebintina*, *l'essenza di lauro*, *la gomma arabica*, e *l'inulina*. Quelle che girano da *sinistra* a *destra*, sono: *l'essenza di cedro*, *lo sciroppo di zucchero*, *la soluzione alcoolica di canfora*, *la destrina*, e *l'acido tartrico*.

Per osservare in queste diverse sostanze la colorazione della luce polarizzata o la rotazione del piano di polarizzazione, ci basta riempierne un tubo più o meno lungo rappresentato figura 318 bis, e disporre esso tubo sull'apparecchio di Noremberg (*fig. 308*), procedendo come col cristallo di rocca; il tubo può avere da 1

fino a 5 ovvero 6 decimetri. Pei vapori, come quel d'essenza di terebintina, nel qual il Sig. Biot ha ravvisato le stesse proprietà che nell'essenza medesima, un'altra disposizione vuolsi adoperare, dappoichè la lunghezza dei tubi debb'essere quasi in ragione inversa delle densità del vapore e del liquido stesso. Il più efficace di questi liquidi è quasi trenta o quaranta volte meno efficace del cristallo di rocca. Sicchè per una doppiezza di 1 millimetro lo sciroppo concentrato, ch'è il più efficace, non imprime al rosso estremo, che una rotazione di 30' circa.

Quivi, siccome nel quarzo, la rotazione cresce generalmente con la rifrangibilità ed in ragione inversa del quadrato della lunghezza delle ondulazioni: nondimeno vi son delle eccezioni a siffatta legge, particolarmente per l'acido tartrico disciolto nell'acqua, che imprime ai raggi verdi la massima rotazione e la minima ai violetti; e che intanto ritorna sotto la legge generale appena si combina con l'ammoniaca, la glucina o l'acido borico. Ei bisogna nelle diverse memorie del Sig. Biot osservare tutte le proprietà da lui confermate su di ciò, ed il partito, ch'ei ne ha saputo trarre per istudiare le disposizioni degli atomi, o nell'atto delle loro chimiche combinazioni, o quando le combinazioni sono perfette.

468. *Polarizzazione circolare prodotta dalla riflessione sulle superficie metalliche lisciate.* — Il Sig. Brewster ha riconosciuto che, se sotto una determinata incidenza si fa cadere sopra due lamine metalliche parallele un raggio polarizzato in modo, che il piano di polarizzazione faccia 45° col piano di riflessione, questo raggio è polarizzato circolarmente dopo un numero dispari di riflessioni, ed è per l'opposito polarizzato nel piano primitivo, se il numero delle riflessioni è pari. L'angolo d'incidenza varia ne' differenti metalli, ma rimane compreso fra 70° e 78°.

469. *Diversi fenomeni di polarizzazione, che si producono ne' cristalli sovrapposti, ne' cristalli colorati, nel vetro temperato, riscaldato o compresso, ecc.* — Sotto questo titolo noi raccoglieremo diversi fenomeni, di cui si può indicare la cagione generica, ma

che per la complicazione loro sembrano sfuggire a misure precise; e quindi ad un' analisi teorica abbastanza semplice e compiuta, perchè ci si renda possibile d' intraprenderla qui.

Quando fra due turmaline si colloca un cristallo perpendicolare all'asse, dando due lamine incrociate di cristallo di rocca delle strisce; gli anelli del cristallo perpendicolare sono notabilmente alterati, e variando con l' inclinazione del sistema incrociato: noi abbiamo tentato di riprodurre tali apparenze nella figura 336. L' effetto non è simmetrico, ed utili mezzi se ne possono trarre per riconoscere la direzione del secondo asse, allorchè si conosce il primo. Il Sig. Delezenne ha fatto su di ciò molte importanti esperienze. (*Società di Lilla*). Invece di far l' esperimento nel modo indicato da noi si possono fare con l' apparecchio della figura 315, mettendo il sistema incrociato accosto alla piastra perpendicolare ritenuta nella mollette; si può farla eziandio con l'apparecchio della figura 312 alla luce solare.

Sostituendo al sistema incrocicchiato una piastra che dia degli anelli essa stessa, analoghi risultamenti possono ancora ottenersi; cioè deformazione degli anelli; spostamenti de' colori; nuove strisce brillanti ora circolari, ora bizzarramente ravvolte attorno all' asse unico, od al sistema degli assi.

Cristalli colorati. — Il Sig. Babinet ha osservato che i cristalli colorati positivi fanno passare con più abbondanza, la luce polarizzata in un piano parallelo all' asse o al piano degli assi, mentre i cristalli negativi fanno passare con più abbondanza la luce polarizzata in un piano perpendicolare all' asse o al piano degli assi; sicchè la turmalina, ch' è negativa, assorbe compiutamente l' immagine ordinaria, quando è molto colorata e doppia, mentre il quarzo, ch' è positivo, assorbe l'immagine straordinaria, quando è bastantemente annerita.

Sonovi dei cristalli dotati del *dicroismo*, che danno cioè 2 colori, quando si guardano in sensi diversi. Così la dicroite è giallo bruna, o di un bel turchino, secondo che è tagliata perpendicolarmente o parallelamente al-

l'asse: al contrario l'idrocolorato di potassa e di palladio è rosso o verde nelle circostanze medesime.

Vetri temperati. — Situando sul sostegno *v* dell'apparecchio (*fig. 308*), dei vetri temperati di varie forme, vivi colori si scorgono, ora disposti regolarmente, ora bizzarramente, come vedesi nelle figure 337, 338, e 339: per 337 il piano dell'analizzatore è perpendicolare al piano di polarizzazione, e gli orli del vetro fanno 45° con questi due piani; per 338 gli orli del vetro sono paralleli al piano di polarizzazione; e per 339, rimanendo gli orli del vetro paralleli, l'analizzatore è stato girato di 90°. Le figure 340 e 341 corrispondono per una piastra quadrata alle figure 338 e 337 della piastra rettangolare.

Gli stessi effetti si ottengono con la luce solare, disponendo i vetri in sughero (*fig. 332*), per metterli poi d'innanzi alla prima lente nell'apparecchio figura 312. Questi fenomeni risultano manifestamente dalla particolare ed accidentale disposizione, che l'improviso raffreddamento ha impresso alle molecole del vetro. Ed in fatti basta riscaldar con lentezza i vetri a fare sparire i colori.

Vetro Riscaldato. — Dopo aver fatto riscaldare a 100 ovvero 150° la specie di forma della figura 319, vi s'introduce un pezzo di vetro, il quale dilatandosi presso ai suoi orli mette tutte le sue molecole in uno stato di tensione, che sviluppa ancora dei colori nella luce polarizzata. Consimili effetti produce il pronto raffreddamento.

Vetro piegato. — La figura 321 rappresenta una soppressa destinata a piegare una lamine di vetro lunga e doppia; in questo stato violento essa sviluppa delle strisce colorate quasi parallele tra loro e parallele alla flessione.

Vetro compresso. — Comprimendo una lamina quadrata di vetro nella soppressa della figura 320, ei si scorge nel senso della compressione un principio di apparenza di 2 assi. (1)

LIBRO SETTIMO

DEL CALORE.

SECONDA PARTE.

PROPAGAZIONE DEL CALORE E CALORIMETRIA

CAPITOLO PRIMO.

Propagazione del calore.

§. I. *Fenomeni generali del calore raggiante nell'aria e nel voto.*

470. *Dell'esistenza del calore raggiante e dell'idea che possiamo farci de'raggi calorifici.* — Il calor raggiante è quello, che passa attraverso di certi corpi, come la luce attraverso de' corpi diafani. Il calore del sole non giunge a toccare la terra, se non dopo aver attraversato tutto lo strato atmosferico; e, se l'aria in un dì sereno si scalda, tutti sanno che anche i corpi si scaldano; e generalmente la temperatura loro è più alta assai di quella dell'aria. Adunque una parte del calor solare al pari della luce attraversa tutta la spessezza atmosferica senza venirne assorbita. Parimente il fuoco di un focolare ci riscalda in distanza, senza che gli strati di aria, che ce ne separano, siano riscaldati di mano in mano; dappoichè di leggieri si scorge che rimangono fredde, e che possono pur essere agitate e rinnovate ra-

pidamente, senza che alla distanza medesima se ne risenta il minimo effetto. Una palla rossa di fuoco sospesa nel mezzo di un appartamento è più atta ancora a mostrare questo fenomeno: da tutte parti intorno di essa si riceve un' impressione di calore, mentre l'aria ambiente, che non la tocca, conserva quasi lo stato suo di riposo e la sua primitiva temperatura. Sicchè i corpi, che sono riscaldati fino a produrre della luce, hanno ad un tempo un *potere emissivo*, cioè la proprietà di *emanare* intorno di essi in tutt'i versi calore, che attraversi l'aria, siccome la luce attraversa i mezzi diafani. E dietro cosiffatta analogia, parlando di calore si dice, *raggi calorifici, raggi di calorico* o *raggi di calore*, siccome si dice *raggi luminosi* o *raggi di luce*.

471. *Potere emissivo*. — Il potere emissivo o *potere raggiante*, del quale abbiamo parlato testè, non esiste solo ne' corpi, che son caldi abbastanza per emanare ad un tempo luce e calore; noi mostreremo ch'esso appartiene a tutt'i corpi senza distinzione; che può ben scemare, quando la temperatura decresce, ma che non può cessare di esistere; che si manifesta eziandio in una palla raffreddata fino al punto di non esser più visibile nelle tenebre, come in una palla splendente di fuoco, nell'acqua alla temperatura ordinaria, del pari che nell'acqua bollente, nel ghiaccio, nel mercurio gelato, finalmente in tutt'i corpi, per quanto possono essere freddi. Dal che procede che ogni corpo rispetto al calore è ciò, che la fiamma di una lampada per esempio è rispetto alla luce: da tutt'i punti della fiamma partono raggi luminosi, che si spandono lungi nello spazio: del pari da tutt'i punti di un qualsivoglia corpo freddo o caldo partono senza posa de' raggi di calore che attraversano l'aria, e si propagano liberamente fino a che incontrino qualche corpo, che li fermi.

Per mostrar questa continua azione del potere emissivo, si dispongono l'uno incontro all'altro in distanza di 5 o 6 metri due grandi specchi sferici o parabolici di ottone lisciato, in modo che i loro assi siano coincidenti (*fig. 342*), nel foco del primo si mette una palla ri-

scaldata fino al rosso bianco, ovvero carbone acceso, la cui combustione si agevoli con un mantice; nel foco del secondo si mette un pezzo di esca; in men di un minuto si vede l'esca accendersi, come se stesse in contatto col fuoco. La qual esperienza manifestamente prova il potere emissivo del corpo incandescente, che sta nel foco del primo specchio, non permettendo le condizioni dell'esperienza di supporre, che l'aria riscaldata di mano in mano sia quella, che vada ad infiammare l'esca.

Se alla palla rossa si sostituisce una palla riscaldata solo 300° ed all'esca un termometro ordinario; si vedrà il termometro rapidamente salire; adunque la palla a 300° ha pure un potere emissivo.

Ora se la palla a 300° vien sostituita con un vaso ripieno di acqua bollente o di acqua a 90°, 80° ovvero 70°; sarà facilmente possibile che il termometro focale del secondo specchio non accusi veruno elevamento di temperatura visibilissimo: purtuttavia ciò non prova che le pareti del vaso cessino in questa temperatura di avere un potere emissivo, ma soltanto che in tali circostanze il termometro ordinario è pochissimo sensibile per accusarne gli effetti. Allora si vuole avere ricorso a mezzi termometrici più delicati, o col termometro ad aria rappresentato nella figura 343, o col termometro di Rumford (*fig. 345*), o col termometro differenziale di Leslie (*fig. 344*), o col termo-moltiplicatore del Sig. Melloni (*fig. 346* e *347*). Pochi cenni basteranno a fare intendere l'uso di siffatti apparecchi.

Il termometro ad aria è solamente una palla di 3 ovvero 4 centimetri, soffiata nell'estremità di un tubo di circa un millimetro di diametro; questo tubo è ricurvo e porta seco ad un tempo un gonfiamento nella sua curvatura ed un imbuto nella sua estremità, perchè il liquido *cd* non possa nè ricader nella palla, nè sfuggire di su. Quando le sue dimensioni sono cognite, è facile di calcolarne la sensibilità per mezzo delle leggi della dilatazione dell'aria; ma ben si comprende che torna impossibile il graduarlo, dappoichè il liquido riman sottoposto alla

pressione atmosferica, e permette all'aria di escire e di rientrare.

Il termometro di Rumford è composto di due palle *a* e *b* riunite da un tubo ricurvo, la cui parte orizzontale è 3 o 4 centimetri lunga. L'*indice c d* di alcool o di acido solforico riceve le opposte pressioni dell'aria de' 2 serbatoi, e cammina insino a che le pressioni siano eguali; il punto, dove si ferma per una perfetta eguaglianza di temperatura e di pressione, è il *zero* dell'istrumento, e l'allontanamento, che prende dall'una e dall'altra parte, è quasi proporzionale alla differenza di temperatura delle palle. Generalmente questi movimenti dell'indice sono espressi da divisioni arbitrarie, ma sarebbe facile valutarli in gradi centigradi; o con l'esperienza, disponendo d'intorno alle palle de' vasi destinati a ricevere l'uno del diaccio fuso, l'altro dell'acqua a 1° ovvero 2°; o col calcolo per mezzo delle dimensioni dell'apparecchio e del coefficiente di dilatazione de'gas (2).

Il termometro differenziale di Leslie si fonda sullo stesso principio; se non che i serbatoi ed il tubo generalmente sono di più piccola dimensione, le branche verticali sono più lunghe e più strette fra loro, e la colonna liquida *c d* ordinariamente prende origine nell'una delle palle per estendersi fino al mezzo della branca verticale dell'altra palla, e si può graduar come il precedente.

Il termo-moltiplicatore del Sig. Melloni si compone di una pila termo-elettrica analoga a quella da noi descritta (2° *vol., pagina 284, fig. 459 e 460*), e di un moltiplicatore sensibilissimo. La pila *p*, accuratamente ne' due capi annerita con nero di fumo, debb'esser allogata sopra di un piede (*fig. 346*) riparata dalle correnti di aria e dall'irradiazione laterale mediante gli astucci *a* o *b*, e questo serve pure da riflessore per concentrar sulla pila un numero maggiore di raggi di calore. Il galvanometro o moltiplicatore è rappresentato nella figura 347: il fil di rame, che lo compone, ha circa due terzi di millimetro di diametro, e 7 in 8 metri di lunghezza; esso fa quaranta giri sul quadro metallico, i

quali sono simmetricamente disposti dall' una e dall' altra parte della linea media su di una larghezza di 4 centimetri. Gli aghi bene scelti, calamitati e compensati accuratamente, sono ligati fra loro, siccome rappresenta la figura 347 *bis*; il lor sistema è sospeso ad un filo di bozzolo nel vertice della campana *c*, per mezzo dell'ingegnoso meccanismo *d*, che concede innalzarlo od abbassarlo ad arbitrio girando il bottone *f* (*fig.* 347). Gli estremi del filo del moltiplicatore corrispondono a due buchi *m n*. Dopo avere allogato l'apparecchio su di un sostegno solido e riparato da qualsiasi vibrazione, averlo posto a livello, perchè il filo di sospensione stia nel centro del quadrante partito, ed averlo diretto nel meridiano degli aghi, non rimane altro che stabilirne la comunicazione con la pila; il che si fa mediante le spire estensive *g*, *h*, le cui caviglie finali si conficcano ne' pertugi *x*, *y* della pila, ed *m*, *n* del moltiplicatore. Allora la minima differenza di temperatura, che siavi fra gli estremi anneriti della pila, si manifesta con una deviazione degli aghi, che leggesi sul quadrante partito. Qui bisogna distinguere la *deviazione impulsiva* e la *deviazione definitiva*, cioè il maximum di allontanamento, a cui l' ago perviene mercè il suo primo moto d'impulsione, e l' allontanamento, dove si ferma dopo una serie di oscillazioni. Il Sig. Melloni con destrezza grandissima ha colto le costanti correlazioni, che vi sono tra loro, e che permette di dedurle l' una dall' altra, allorchè si è precedentemente formata una tavola di tali correlazioni per ciascun apparecchio. Dal che risulta assai pro; dappoichè, osservando le deviazioni impulsive, un' esperienza non dura più di 10 in 12 secondi, mentre dovrebbe durare parecchi minuti, se bisognasse aspettar l'equilibrio. Circa la corrispondenza, che ci ha fra la deviazione diffinitiva e la differenza di temperatura delle saldature della pila, si può anche facilmente ottenerla, se non di una maniera assoluta, per lo meno relativa; dappoichè, avendo il Sig. Melloni con esperienze analoghe a quelle da noi indicate (t. 2 p. 282) comprovato che nelle pile di bismuto e di antimonio l' intensità della corrente è pro-

porzionale alla differenza delle temperature delle saldature, tutto riducesi a cercare la correlazione, che le intensità della corrente liga alle deviazioni dell'ago: a questo effetto il Sig. Melloni prende due sorgenti di calore costanti, due lucerne per esempio di Locatelli; ei le dispone sopra l'asse della pila, una a dritta e l altra a sinistra, e le fa di mano in mano operare, togliendo o riponendo i tramezzi, che arrestano la loro azione calorifica. Le distanze sono scelte, perchè l'una dia, supponiamo, 40° di deviazione a dritta, e l'altra 35° di deviazione a sinistra: fermato ciò le si fanno contemporaneamente operare, e si ottengono 15° di deviazione a dritta; dunque 15° partendo dal zero equivalgono ai 5° compresi fra 35 e 40. Si comprende che col variare queste esperienze è agevole a formare una tavola a due colonne: esprimente la prima le deviazioni definitive osservate; la seconda i gradi di deviazione, che si osserverebbero, se l'allontanamento dell'ago non indebolisse l'azione che prova da parte della corrente. Negli apparecchi del Sig. Melloni le due colonne di questa tavola coincidevano fino a 20°; cioè l'intensità insino a questo allontanamento era proporzionale alla deviazione, ma per 25, 30, 35, 40 e 45° di deviazioni osservate, la seconda colonna della tavola dà 27, 35, 47, 62 ed 83.° Nondimeno con diversi ingegnosi artifizi il Sig. Melloni generalmente ha ridotto tutte le osservazioni sue a non produrre che allontanamenti inferiori a 30°.

Difficil cosa sarebbe il valutare direttamente sull'apparecchio medesimo a qual differenza di temperatura corrisponda una deviazione di un mezzo grado, che si può facilissimamente osservare: ma vi si giungerebbe di leggieri col calcolo, costruendo una pila, i cui elementi, di dimensione nota, fossero lunghi abbastanza, perchè le saldature potessero venir mantenute a temperature fisse osservate con buoni termometri centigradi. Al che basterebbe di applicare i princìpi da noi sviluppati (t. 2) sulle intensità delle correnti.

Se ora noi riprendiamo l'esperimento degli specchi, ponendo nel foco del secondo uno degli apparecchi da noi testè descritti, e nel foco dell'altro un qualsiasi

corpo dell'estensione di uno o due decimetri, ei sarà agevole di comprovare che questo corpo esercita sempre istantaneamente un'azione calorifica, appena la sua temperatura di poco *oltrepassi* l'ambiente. Questo piccolo eccesso di temperatura è la sola condizione del successo dell'esperienza. Se adunque si opera in un'aria, che sia qualche grado sotto 0, un pezzo di ghiaccio darà calore al foco del secondo specchio; e se si opera 45° sotto zero, come potrebbesi fare nelle regioni boreali, un pezzo di mercurio congelato e sciolto darà calore al foco del secondo specchio. Sicchè infine ogni corpo per freddo che sia possiede un potere emissivo.

Tutti gli esperimenti, eccetto la combustione dell'esca, si potrebbero fare con uno specchio solo, nel cui foco si metterebbe l'apparecchio termometrico; ed anche si può omettere lo specchio, quando si fa uso del termo-moltiplicatore; basta allora di aggiustare l'astuccio conico *b* sull'estremo della pila, che dee ricever l'azione del calore.

472. *Potere assorbente.* — Ogni corpo ha un potere assorbente, ch'è pure in continua azione per riparare le perdite dovute al potere emissivo. Questa proposizione è del tutto evidente per gli apparecchi, di cui abbiamo fatto uso testè, conciossiachè essi non per altro si riscaldino nel foco del secondo specchio, se non perchè *assorbono* il calore emanato dal corpo caldo del primo specchio; ma la si vuole estendere a tutt' i corpi senza distinzione, dappoichè tutti i corpi si riscaldano al sole, e tutti acquistano senza eccezione una temperatura più alta di quella dell'aria, il che è una prova chiara che non gli riscalda l'aria. Evvi di più, tutt' i corpi freddi si riscaldano del pari in un circuito vuoto ove sono sospesi: dunque, assorbono del calore emanato dalle pareti del circuito. Noi di qui a poco vedremo che il potere assorbente al pari del potere emissivo può in limiti amplissimi variare da un corpo all'altro, ma al pari di esso non può cessare di esistere nè di operare.

473. *Potere riflettente.* — Hanno i corpi generalmente un potere riflettente, mercè il quale senz'assorbirla

rimandano una parte più o meno grande del calor raggiante, che ricevono da tutte le superficie d'intorno, quasi come i corpi o regolarmente od irregolarmente riflettono una porzione della luce, che gli percuote. Gli specchi, che ci hanno servito, sono una prova molto decisiva di questa riflessione del calore, poichè essi non si riscaldano nemmeno nell'esperienza, dove si accende l'esca. Ma basta il ragionamento ad indicare che questo potere esiste nella maggior parte de'corpi, e che esso è di *compimento* al potere assorbente, perocchè la somma delle quantità di calore assorbite e riflesse dee sempre riprodurre esattamente la totalità del calore incidente; quindi uno di questi poteri cresce, quando l'altro diminuisce; e perchè diventasse nullo il potere riflettente, bisognerebbe che il potere assorbente fosse totale; il che non accade, siccome vedremo, che nelle superficie accuratamente coperte di nero di fumo: per lo contrario le superficie metalliche lisciate hanno un gran poter riflettente ed un debole potere assorbente. Queste nozioni generiche or ora ci verranno all'uopo per istabilire i principî fondamentali del calore raggiante.

474. *Principio dell'equilibrio mobile di temperatura.* — Immaginiamo un circuito chiuso da ogni banda; supponiamo per maggiore semplicità che abbia la figura sferica, che sia voto, e che tutt'i suoi punti abbiano nello stesso grado il potere di riflettere, di emanare e di assorbire il calore. Essendo la superficie esterna di questo circuito in un qualsivoglia modo mantenuta ad una temperatura invariabile ed uniforme in tutt'i punti, la superficie interna avrà la medesima temperatura con la stessa invariabilità ed uniformità. L'equilibrio avrà luogo in tutta l'estensione del circuito, qualunque ne sia la grandezza; abbia un metro od un milione di leghe di diametro. Ciò posto, si può concepire l'equilibrio in due modi: primamente può immaginarsi che l'interna superficie abbia perduto la sua virtù raggiante, che ciascun de'suoi punti niente non emani nello spazio voto e niente non riceva, che tutto infine rimanga nello stato medesimo, e che il calorico sia immobile; in secondo luogo si

può ammettere che, non ostante l'equilibrio, la superficie interna serbi tuttavia la sua virtù raggiante, che ciascun de' suoi punti in tutt'i sensi tramandi de' raggi nel voto, e che ne riceva in tutt'i sensi del pari, che tutto infine muti ad ogn'istante, e che il calorico sia incessantemente in moto, e la temperatura incessantemente in equilibrio. Questa seconda ipotesi pronunciata la prima volta dal Sig. Prevost di Ginevra è ciò che si appella il principio dell'*equilibrio mobile del calore*; questo principio strettamente definito e fatto generico dal Sig. Fourier, è divenuto nelle sue mani il punto d'incominciamento di tutta la teorica matematica del calore raggiante. Ed è da vedere nelle opere di Fourier, in quelle di Laplace e del Sig. Poisson qual sia l'importanza e l'estensione di questa bella teorica, di cui non avevano pur l'esistenza supposta i grandi geometri dell'ultimo secolo. Noi ci studieremo di qui riprodurne i princìpi fondamentali, facendoli riposare soltanto sopra considerazioni elementari.

475. *Principio della ragione inversa del quadrato della distanza.* — Se s'immagini un corpo sferico nel centro di un circuito sferico parimente, chiaro è che le pareti del circuito ricevono tutto il calore emanato dal corpo, e che questo calore vi si trova uniformemente distribuito, supponendo uniforme in tutt'i suoi punti l'emissione del corpo; ma se il circuito acquista un raggio doppio, la sua superficie diventa quattro volte maggiore, e siccome la quantità di calore, che riceve dal corpo, rimane la stessa; bisogna che ogni centimetro quadrato ne riceva quattro volte meno; se il raggio del circuito diventa triplo, la sua superficie è nove volte maggiore, ed ogni centimetro quadrato non riceve più di un novesimo, ec. Sicchè l'intensità del calore diminuisce, siccome cresce il quadrato della distanza; ma questa legge non si applica strettamente, fuorchè nel caso particolare testè esaminato, o in quelli che tornano allo stesso: dovrebbesi essere per esempio bene guardingo di applicarla al caso di due superficie piane di una certa estensione, poste l'una in presenza dell'altra, calcolando le distanze ad incominciare da questa superficie medesima.

476. *Principio dell'uguaglianza di temperatura in tutt'i punti di un circuito voto, le cui pareti siano mantenute ad una temperatura costante.* — Sia r' il raggio del circuito sferico (*fig. 348*), s' la sua superficie, e' la quantità di calore emanata dall'unità di superficie nell'unità di tempo; sia r il raggio di un corpo sferico sospeso nel centro del circuito, s la sua superficie, e la quantità di calore emanata dall'unità di superficie nell'unità di tempo. Ammettiamo che il circuito ed il corpo abbiano un potere assorbente totale, od un poter riflettente nullo; e dinotiamo con ω il semi-angolo visuale, sotto di cui da un qualsivoglia punto del circuito il corpo è veduto. L'intera quantità di calore perduta dal corpo nell'unità di tempo è es; e rappresentandosi con e'' la porzione di questo calore ricevuta ed assorbita dall'unità di superficie del circuito, manifestamente si avrà $es = e''s'$; dal che

$$e'' = e.\frac{s}{s'} = e.\frac{r^2}{r'^2} = e \text{ sen.}^2\,\omega.$$

Ora il corpo da ciascuno elemento z del circuito riceve una certa frazione b della quantità totale e' che vien emanata da questo elemento, ed esso in somma riceve $b\,e'\,s'$; se l'equilibrio si suppone stabilito, la quantità ricevuta è uguale alla quantità perduta, il che dà $es = bes'$, dal che:

$$be' = e.\frac{s}{s'} = e.\frac{r^2}{r'^2} = e.\text{ sen.}^2\,\omega = e'',$$

cioè che allora tutto quanto il corpo riceve da ciascuna unità di superficie del circuito una quantità di calore be', ch'è precisamente uguale alla quantità e'' che la invia, ovvero con altre parole l'equilibrio esiste individualmente per ognuno degli elementi del circuito.

Ma supponendo che il raggio del circuito addiventi sempreppiù grande, e'' diminuisce come il quadrato del raggio; adunque lo stesso accade di be'; e siccome

b è esso medesimo sottoposto a questa legge di diminuzione, e' dee rimanere costante. Dal che risulta che, *senza cangiar l'equilibrio*, diverse porzioni del circuito possono allontanarsi ed altre accostarsi; ovvero, il che vale lo stesso, il corpo si può movere nel circuito in qualsiasi maniera. Quando è adunque stabilito l'equilibrio, le temperature del corpo e del circuito non deggiono variare, mentre il corpo ed il circuito si rimovono o si trasformano a volontà.

Ancora bisogna che queste temperature siano eguali; dappoichè, supponendo che il circuito si accosti molto dappresso al corpo, si avrà contemporaneamente $b = 1$ e sen.^{2} $\omega = 1$, e per illazione $e' = e$. Ora essendo, siccome vedemmo testè, le quantità di calore emanate indipendenti dalle grandezze relative del corpo e del circuito; l'eguaglianza, che qui ci ha fra di loro, si debb'estendere a tutt'i casi, e sempre si avrà $e' = e$, e per conseguenza $b =$ sen.^{2} ω. Ma per superficie identiche spogliate di poter riflettente, l'uguaglianza della quantità di calore emanate trae seco manifestamente l'eguaglianza delle temperature; sicchè infine il corpo ed il circuito deggiono per l'equilibrio aver sempre uguali temperature.

Quando si tien ragione del poter riflettente delle superficie, siamo condotti agli stessi risultamenti: ma la dimostrazione finisce di essere elementare; del rimanente l'esperienza pienamente conferma questo principio per tutt'i casi.

477. *Legge del coseno.* — L'intensità dei raggi del calore è proporzionale al coseno dell'angolo, che questi raggi fanno con la normale dell'elemento raggiante. Di fatto si vede (*fig. 348*) che emanando l'elemento z del circuito una quantità di calore e', il globo ne riceve una frazione $b\,e'$ ovvero e' sen^2 ω, e ne riceverebbe e' sen^2 ω', se fosse veduto dall'elemento r sotto un angolo alquanto più grande ω'; sicchè la quantità di calore emanato in tutta la zona compresa tra ω e ω' è e' (sen.^{2} ω' — sen.^{2} ω); essendo da un'altra parte 2π (cos. ω — cos. ω') la quantità di calore emanato sulla sua unità di superficie è 2π (cos. ω + cos. ω'), ovvero $\frac{e'}{\pi}$

cos. ω, supponendo ω' poco diverso da ω; quindi essa è proporzionale al coseno dell'angolo ω.

Dal che risulta che una quantità di calore emanato obbliquamente da una superficie è uguale a quella, che sarebbe normalmente emanato mercè la sua proiezione o *viceversa*; il ch'è pur confermato dall'esperienza, siccome si può rendersene certi con uno specchio, nel cui foco si metta un termometro differenziale, o senza specchio col termo-moltiplicatore: per il che si prende, a cagion di esempio, un cubo ripieno di acqua calda, si situa il suo centro nell'asse della pila, e dinanzi ad esso un tramezzo forato di un foro molto più piccolo della faccia del cubo; l'istrumento indica allora lo stesso effetto, o che la faccia raggiante del cubo si trovi obbliqua o che si trovi perpendicolare all'asse della pila.

478. *Legge della riflessione.* — Il calore si riflette come la luce, facendo l'angolo di riflessione uguale all'angolo d'incidenza. Questa proposizione trovasi dimostrata dall'esperienza degli specchi, notando che i fochi di calore coincidono con que' di luce; e si può anche dimostrarla direttamente col termo-moltiplicatore, disponendo convenientemente de' tramezzi e delle superficie piane riflettenti.

479. *Velocità del calore.* — La velocità del calore sembra essere analoga a quella della luce; del che si può giudicare dalla subitaneità dell'azione, che il termo-moltiplicatore prova, quando si toglie il tramezzo che arrestava il calore; ma quest'analogia è confermata meglio dalla rifrazion del calore, della quale faremo di presente parola.

480. *Paragone de' poteri emissivi, assorbenti e riflettenti delle varie sostanze.* — Quando un corpo è in equilibrio di temperatura in un circuito, il suo potere emissivo è evidentemente uguale al suo potere assorbente o, in altri termini, ciò che per l'emission perde, è uguale a ciò che dall'assorbimento riceve; dappoichè senza questo la sua temperatura sarebbe crescente o decrescente. Quando per lo contrario non è in equilibrio uno di questi poteri vince l'altro, ma essi restano ligati fra loro, sic-

come vedremo con le leggi del riscaldamento e del raffreddamento. Da un'altra parte essendo il poter riflettente di necessità compimento del potere assorbente, si vede bene che basta il determinare uno di questi poteri per dedurne gli altri due. I due seguenti processi hanno servito particolarmente per paragonare i poteri emissivi de'vari corpi ad uguale temperatura.

Processo di Leslie. Si dispone una delle palle del termometro differenziale nel foco di uno specchio, e sull'asse dello specchio ad una convenevol distanza si pone il centro di un cubo ripieno di acqua calda; quando si toglie il tramezzo, che arrestava il calore raggiante, la palla focale si riscalda e giunge all'equilibrio, quando l'eccedente di calore, che riceve dall'irradiamento della superficie del cubo, è uguale all'eccedente di perdita che dee fare per la grande emissione sua e pel contatto dell'aria. Gli eccessi di temperatura, che in tal modo acquista per mettersi in equilibrio, siccome vedremo con le leggi del raffreddamento, sono notabilmente proporzionali alle quantità di calore che riceve dalla faccia del cubo, e come, ad egual temperatura, a superficie e distanze uguali, sono queste quantità di calore esse medesime proporzionali a'poteri emissivi, si vede bene che la corrispondenza degli eccessi di temperatura data da facce diverse, è precisamente la corrispondenza de' lor poteri emissivi.

Processo del Sig. Melloni. — Tolgasi via lo specchio, al termometro differenziale si sostituisca il termomoltiplicatore, e si osservino le deviazioni impulsive dell'ago; da queste si deducano le deviazioni diffinitive, e mediante la tavola, di cui abbiamo parlato, si perviene a paragonare gli eccessi di temperatura impressi all'estremo della pila che guarda il cubo: questi eccessi si trovano, come quelli del termometro differenziale, proporzionali a'poteri emissivi delle facce sottoposte all'esperienza.

Pel primo processo le facce di cubo deggiono avere 15 o 18 centimetri di lato; pel secondo, ch'è molto più delicato, basta darne loro 7 od 8 centimetri. Rico-

prendo di vari strati di una sufficiente doppiezza una faccia; hannosi di tal guisa i loro poteri emissivi.

Ecco i risultamenti dell'esperienze:

Negrofumo	100	Inchiostro di China. .	85
Carbonato di piombo.	100	Cristallo	85
Carta da scrivere . .	98	Gomma lacca	72
Vetro ordinario . . .	90	Superficie metalliche.	12

Sicchè rappresentando il poter emissivo del negrofumo con 100, il poter riflettente del quale è notabilmente nullo, il potere emissivo delle superficie metalliche lisciate è soltanto 12; quindi mercè il lor potere assorbente queste superficie non assorbono che i $\frac{12}{100}$ del calore incidente, e ne riflettono in conseguenza gli $\frac{88}{100}$.

Intanto bisogna osservare che le corrispondenze dei poteri emissivi di tali sostanze e quindi quelle de' lor poteri assorbenti e riflettenti, forse potrebbero non serbarsi le stesse per ogni temperatura e per qualsivoglia specie di calore: per esempio esponendo al calor solare del negrofumo e del carbonato di piombo, accade col fatto che cessino di avere uguali poteri assorbenti, conciossiachè il carbonato di piombo rifletta molto più di questo calore che il negrofumo: il che procede o da una reale variazione della corrispondenza, o dalla determinazione pochissimo precisa, che può farsene all'ordinaria temperatura.

Se il poter riflettente si volesse direttamente determinare, potrebbe farsi eziandio esponendo dinanzi dal foco di uno specchio (*fig. 349*) delle piastre piane dei diversi corpi, e collocando la palla focale del termometro differenziale nel foco de' raggi riflessi. Essendo la medesima l'origine del calore, gli eccessi di temperatura della palla focale sarebbero tra loro come i poteri riflettenti.

481. *Equilibrio di temperatura in un circuito qualunque. — Riflessione del freddo.* — Nasce da quel che precede che, quando l'equilibrio di temperatura è stabilito in un qualsiasi circuito, ogni corpo perde tan-

to di calore, quanto ne assorbe; la perdita sua ripara in parte le perdite di tutt'i corpi che *vede*, e reciprocamente il suo guadagno risulta dall'emissione, che tutti questi corpi fanno verso di lui; adunque questo mutuo e costante ricambio mantiene in continua correlazione tutt'i corpi del sistema per modo, che nessuno di essi non può provare una modificazione di temperatura, senza che tutti gli altri non partecipino incontanente di siffatta modificazione, ma in correlazioni variabili in ragione della loro grandezza, della loro distanza e de' lor poteri calorifici.

In tal modo una lampada accesa introdotta in un appartamento mercè la sua emission di calore muta in un momento la temperatura di tutt'i corpi, siccome mercè la sua emissione di luce ne muta la chiarezza. Un pezzo di ghiaccio produrrebbe un effetto consimile, ma d'intensità differente. Il termometro, che stesse accanto, subito abbasserebbe o ascenderebbe, secondo si troverebbe mercè l' anteriore equilibrio al di sopra od al di sotto del zero, e tanto più considerevole ne sarebbe il movimento, di quanto maggiore è l'angolo, sotto del quale il pezzo di diaccio vedrebbe, o di quanto gli sarebbe più prossimo. Allorchè il termometro scende, non è già che il diaccio non gli mandi affatto calore, ma sì meno dei corpi, che la sua presenza nasconde al termometro, ed a' quali si sostituisce; perdendo allora il termometro tanto e ricevendo meno, si dee necessariamente abbassare. Se si vuole accrescere questo effetto ci basta porre il termometro nel foco di uno specchio ed il ghiaccio dinanzi; dappoichè il termometro vedendo il diaccio direttamente e per riflessione, l'effetto sarà lo stesso che se si fossero accresciute le dimensioni del pezzo di ghiaccio, o se si fosse più approssimato al termometro. Questa esperienza *della riflessione del freddo* parve dapprima paradossa; fu tentato di trarne la prova che realmente esistono de' *raggi frigorifici:* ma si vede bene con quale semplicità la si spiega, e come diventa una conseguenza necessaria de' princìpi da noi sviluppati.

§. 2. *Fenomeni generali del calor raggiante nelle sostanze diatermani.*

Quel che diremo di tal subbietto, è tutto quanto estratto dalle belle ricerche fatte dal Sig. Melloni, che si trovano pubblicate negli *Annali di Chimica* e nei *Conti renduti dell' Accademia delle Scienze* (*dal* 1833 *al* 1839). È questo, siccome dice il Sig. Biot nel rapporto notevolissimo fattone all' Accademia delle Scienze (*t.* 14), « un campo di scoperte nuovo, che il Sig. Melloni ha compiuto con una sagacia, solerzia e pazienza incredibile. » E ci duole di doverne qui dare solo un'immagine molto ristretta.

482. *Delle sostanze atermani e diatermani.* — Le sostanze, che arrestano il calore raggiante, siccome i corpi opachi arrestan la luce, si dicono sostanze *atermani*: sostanze *diatermani* per lo contrario si dicono quelle, che danno passaggio al calor raggiante, siccome lo danno i corpi diafani alla luce. Così l' aria è un corpo diatermano, e noi vedremo che anche i corpi solidi e liquidi possono avere diverse diatermaneità, secondo lor natura, doppiezza, stato della lor superficie, natura del calore che si presenta ad attraversarli, ecc.

483. *Non tutt' i corpi diafani sono ugualmente diatermani, nè tutt' i corpi opachi ugualmente atermani.* — L' apparecchio, che serve a quest' esperienze, è il termo-moltiplicatore (*fig. 346*), del quale abbiamo già fatto parola pagina 83: le sorgenti di calore sono la lampada Locatelli *i*; la spira di platino *k* portata al rosso dalla combustione dell' alcool; la piastra di rame annerita *l* portata a 400° da una lampada ad alcool, da ultimo il cubo *q* ripieno di acqua bollente, la cui temperatura si mantiene ancora con una lampada. Queste costanti sorgenti di calore si pongono di mano in mano sul sostegno *e*, che può essere avvicinato alla pila od allontanato; de' tramezzi *o* composti di due sottili sfoglie di ottone sono mobili a cerniera sul proprio asse, e possono essere incontanente abbassate o innalzate: finalmente de' sostegni aventi aperture di convenevol

grandezza sono destinati a ricever le piastre de' diversi corpi, che si vogliono sottoporre alla prova. Se ora si provano le varie sorgenti di calore; notando le deviazioni impulsive corrispondenti per dedurne le deviazioni diffinitive, e quindi l'espressione delle intensità; dipoi dopo tutto questo si frammettono successivamente sul cammin del calore delle lamine *r* di sal gemma, di allume, di vetro annerito, di quarzo affumicato assai, ecc., per così ottenere le corrispondenti intensità; ei si ravvisa paragonandole con le prime che il sal gemma lascia passar quasi tutto quanto il calore, qualunque ne sia l'origine; che l'allume non ne lascia passar mai più di una picciolissima porzione, e tanto più piccola, quanto meno elevata è la temperatura della sorgente; mentre il vetro nero ed il quarzo affumicato, che sono opachi in modo da far appena scorgere il disco del sole, lasciano passare una porzione di calore molto più grande dell'allume, comechè sia decrescente eziandio con la temperatura delle sorgenti.

In tal modo il sal gemma è moltissimo diatermano e lo è per tutte le sorgenti del pari; l'allume eccessivamente poco, e tanto meno quanto la temperatura della sorgente è minore; il vetro nero ed il quarzo affumicato hanno diatermaneità stupenda paragonandola alla loro capacità, ma la diminuisce ancora con la temperatura della sorgente.

484. *La quantità di calore riflesso perpendicolarmente sulle due facce di una piastra diatermana è quasi costante ed uguale ad* $\frac{1}{13}$ *del calore incidente.* — Se si rappresenta con 100 l'intensità di calore, che cade sopra una piastra di sal gemma, l'intensità di quella che passa è sempre 92, 3 qualunque ne sia la sorgente. Sicchè la quantità assorbita o riflessa sulle 2 sue facce è 7, 8; il che darebbe circa $\frac{1}{13}$, se non ci avesse notevole assorbimento. Ora piastre di un millimetro o di molti centimetri di doppiezza dando lo stesso risultamento, già si è indotto a concludere che col fatto il sal gemma attenua sol per riflessione il calore e non per assorbimento.

La qual conclusione le seguenti esperienze fanno diventare certezza.

Da una parte si prenda 1 piastra di vetro 8 millimetri doppia, e da un'altra 6 piastre di vetro consimile, la prima di 2 millimetri e le altre di variabil doppiezza, ma formanti con la prima una doppiezza totale di 8 millimetri: l'intensità del fascio trasmesso dalla piastra di 8 millimetri è 23; quella del fascio trasmesso dalle 6 piastre è 15; essendo l'assorbimento lo stesso, l'affievolimento dovuto al gruppo di 6 è il solo effetto della riflessione. Per determinare quel che appartiene alla prima ed alla seconda superficie, si può adunque ragionare come se nullo fosse l'assorbimento: sia i l'intensità del fascio incidente, r, r^1 le proporzioni, che sarebbero riflesse sulla prima e seconda superficie, se l'intensità primitiva fosse l'unità; l'intensità del fascio che cade sulla seconda superficie del vetro di 8 millimetri sarà $i(1-r)$, e quella del fascio trasmesso da questa seconda superficie $i(1-r)(1-r^1)$; ed è anche l'intensità, che sarebbe trasmessa dal primo vetro del gruppo di 6, ma facil cosa è il vedere che l'intensità del fascio trasmesso dal sesto vetro di questo gruppo, dopo le sei riflessioni esterne e le sei interne, sarebbe diffinitivamente $i(1-r)^6(1-r^1)^6$; adunque la corrispondenza di queste due intensità è $(1-r)^5(1-r^1)^5$, ch'è uguale alla corrispondenza di 15 a 23 data dall'esperienza; se ne deduce $(1-r)(1-r^1)=0,918$; quindi la proporzione riflessa da una riflessione esterna ed una interna è $1-0,918=0,082$, ovvero $\frac{1}{12}$ circa, siccome per lo sal gemma. Anche il cristallo di rocca tagliato perpendicolarmeute all'asse dà lo stesso risultamento. Dal che si possono adunque trarre queste due conseguenze: 1° che il sal gemma assorbe solo un'insensibile proporzione del calore, che l'attraversa; 2° che la riflessione perpendicolare sulla prima e seconda superficie di una piastra di sale, di vetro o di quarzo non si esercita che sopra $\frac{1}{12}$ del calore incidente.

485. *Influenza della doppiezza delle piastre diatermani e composizione dei flussi di calore emanato*

da diverse sorgenti o da diverse piastre trasmesso.— Noi abbiamo poco fa confermato questo notevole fatto, che il sal gemma non assorbe niuna porzione sensibile di calor raggiante, almeno fino alla doppiezza di tre o quattro centimetri; ma esso è il sol corpo che posseda quest'assoluta diatermaneità: tutte le altre sostanze assorbono proporzioni di calore più o meno grandi, e questi assorbimenti variano con la doppiezza delle piastre e la natura delle sorgenti calorifiche, secondo leggi molto intralciate.

Ecco la tavola de'risultamenti, che il vetro, il cristallo di rocca nitido od affumicato, l'olio di colza e l'acqua distillata presentano a tal riguardo.

SPESSEZZA IN MILLIMETRI.	VETRO DI SAINT-GOBIN.			CRISTALLO DI ROCCA LIMPIDO.			CRISTALLO DI ROCCA AFFUMATO.			OLIO DI COLZA.		ACQUA DISTILLATA.	
	Lucerna Locatelli.	Platino incandescente.	Rame a 400°	Lucerna Locatelli.	Platino incandescente.	Rame a 400°	Lucerna Locatelli.	Platino incandescente.	Rame a 400°	Lucerna Locatelli.	Platino incandescente.	Lucerna Locatelli.	Platino incandescente.
0.5	77.5	62.1	14.4	78.6	69.5	14.8	81.7	70.0	15.4	64.0	32.0	25.1	8.7
1.0	73.3	51.5	9.9	76.8	65.1	11.3	78.6	65.0	12.3	48.3	22.8	19.3	5.7
1.5	70.4	46.1	6.7	74.8	62.5	9.7	»	»	»	41.0	18.7	16.0	4.2
2.0	68.2	42.8	5.0	73.3	60.6	8.7	75.1	60.3	9.1	36.1	16.3	13.9	3.2
2.5	66.6	»	»	72.5	»	»	»	»	»	32.7	»	»	»
3	65.3	38.3	2.9	71.8	57.6	7.3	73.1	57.4	7.8	30.6	13.6	11.4	2.0
4	63.4	35.8	2.0	70.8	55.3	6.6	71.4	54.8	7.0	27.8	12.0	10.0	1.5
5	62.0	34.0	1.5	70.2	53.3	6.0	»	»	»	25.7	10.8	9.1	1.1
6	60.9	32.3	1.4	69.8	51.4	5.3	»	»	»	23.9	9.8	8.6	1.0
7	60.0	30.9	1.2	69.5	49.8	5.0	»	»	»	22.6	8.9	8.2	0.8
8	59.2	29.7	1.1	69.3	48.4	4.6	»	»	»	21.8	8.1	8.0	0.6
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21.2	7.5	7.8	0.5
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21.0	7.1	7.7	0.4
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20.9	6.7	7.7	0.3
50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12.5	2.1	2.4	0.0
86	»	»	»	»	»	»	59.0	35.0	0.7	»	»	»	»
100	»	»	»	1	»	»	»	»	»	8.1	1.2	1.3	0.0
150	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6.1	»	0.7	0.0
200	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5.3	»	»	»

Non tutt'i numeri contenuti in questa tavola sono i risultamenti immediati dell'esperienza, poichè non sempre è stato possibile di operare sopra doppiezze esatte di $\frac{1}{8}$, $\frac{2}{8}$, $\frac{3}{8}$ millimetri, ecc.; ma in tal caso i numeri corrispondenti a queste doppiezze si sono ottenuti con alterazioni tra numeri vicini.

Gli esperimenti sull'olio di colza sonosi fatti in tubi chiusi da piastre di sal gemma; ma quando la doppiezza dell'olio sorpassava 3 millim., era indifferente di chiudere il tubo con vetro o con sale.

Dopo aver comprovato che l'acqua distillata opera sensibilmente come l'acqua salata, è facile a scorgere che uno strato di acqua, di 0 millimetro 3, produce lo stesso effetto, o che sia chiusa in piastre di sale, ovvero in quelle di vetro.

Tutt'i risultamenti sono corretti dalla perdita che risulta dalle due riflessioni interna ed esterna: essendo l'intensità del fascio incidente rappresentata da 100, e riducesi in realtà a 92,3 mercè l'effetto della riflessione.

Già si vede che nelle cinque sostanze l'assorbimento è considerevolissimo per una doppiezza di $\frac{1}{8}$ millimetro, e ch'è tanto maggiore quanto la temperatura della sorgente è meno alta.

L'assorbimento totale aumenta sul principio rapidamente con la doppiezza, ma sembra tendere verso un limite; dappoichè, aggiungendo doppiezze considerevoli, il fascio trasmesso serba quasi la medesima intensità; dal che risulta che il flusso di calore di ogni sorgente è composto di elementi molto variamente assorbevoli; non richiedendo gli uni che debolissime doppiezze per essere compiutamente assorbiti; altri doppiezze più grandi, ed altri infine potendo resistere all'assorbimento. Ma questa composizione del calore raggiante è mutabile con la natura della sorgente che la produce; avendo generalmente le sorgenti di bassa temperatura una maggior proporzione di elementi assorbevoli, almeno quando l'assorbimento segue per le sostanze comprese nella tavola.

486. *Diatermansia* o *termanismo*. — Quando si esamina la composizione del calore, non più in sè stes-

sa e di un modo assoluto, ma relativamente e rispetto a' mezzi che attraversa, si è indotto a questa importante conseguenza, cioè: che l'azione de'corpi diatermani sul calore è analoga generalmente all' azione, che i corpi trasparenti e colorati esercitano sopra la luce. In fatti ciò che distingue i mezzi colorati, gli è lo esercitare a preferenza l' assorbimento loro sul tale o tal colore; di modo che, per esempio, se un vetro non fa passare che il semplice rosso, un altro vetro consimile, che gli si ponesse dietro, quasi niente non assorbirebbe, mentre che un vetro violetto non farebbe passar quasi niente: se i vetri colorati invece di render semplice la luce che gli attraversa lasciano al contrario delle tinte composte, si ottengono pure analoghi risultamenti, ma la cui analisi è alquanto più intrigata. E noi vedremo che lo stesso è dei corpi diatermani. Prima di tutto esaminiamo partitamente le 5 sostanze della tavola precedente: non appena il calore ne ha attraversato una doppiezza di 5 in 6 millimetri, esso è *depurato* o *termanizzato* per ciascuna di tali sostanze; non solo addiventa più atto di attraversarle, ma dal canto loro non prova più che debolissimi assorbimenti; quantunque una novella doppiezza della medesima sostanza operi allora sul fascio termanizzato, quasi come il sal gemma opera su di ogni specie di calore, o come un vetro rosso opera sulla luce colorata, che ha attraversato un altro vetro rosso. Ora se su di un fascio termanizzato da una sostanza si fa operare un'altra sostanza diatermana, ecco ciò che si osserva: il cristallo di rocca per esempio opera sul calore, che ha testè attraversato il vetro quasi come opererebbe sul calor naturale, cioè che ne assorbe una considerevole porzione, e questo assorbimento decresce con rapidità, siccome la doppiezza aumenta. Il vetro opera del pari sul calore, che ha attraversato il cristallo di rocca; dunque queste due sostanze operano sul calore, come due vetri colorati di gradazioni diverse sopra la luce; se non che per altro l' uno non assorbe tutto quanto lascia l' altro passare. Ed a questa proprietà, che hanno le diverse sostanze di scegliere nel calore diversi elementi per assorbirli, il Sig.

Melloni dà il nome di *diatermansia:* noi proponiamo di chiamarla semplicemente *termanismo*; di chiamare *termanizzanti* le sostanze, che scelgono di tal modo raggi distinti per assorbirli in preferenza; e di chiamar calore *termanizzato* quello, ch'è stato modificato dalle sostanze termanizzanti, siccome si dice colorata quella luce, ch'è stata modificata dalle sostanze coloranti. (3) Sicchè il sal gemma è diatermano e non già termanizzante, poichè non assorbe niente; ed il calor, che lo ha attraversato, rimane calor naturale, cioè non termanizzato, poichè possiede tutt'i suoi elementi assorbevoli. Altre sostanze potrebbero esser meno diatermane del sale senza essere termanizzanti: al che basterebbe che assorbissero nella stessa proporzione tutt'i diversi elementi del calor naturale. Da ultimo non tutte le sorgenti danno necessariamente il calore, che debb'essere appellato calor naturale; vi possono esser delle sorgenti, il cui calore sia termanizzato, come vi sono fiamme, di cui è colorata la luce; anche le sorgenti, di che abbiamo fatto uso, sono in tal caso, conciossiachè una stessa sostanza termanizzante non operi allo stesso modo su'calori, che esse emanano. E bisognerebbe guardarsi ancora di conchiudere in un modo assoluto che il calor procedente dalle più calde sorgenti sia sempre quello, che contiene gli elementi meno assorbevoli; dappoichè il Sig. Melloni ha di recente confermato, che il sal gemma convenevolmente affumicato sulla fiamma di una candela assorbe in maggior proporzione il calore, ch' emana dalle più calde sorgenti.

Da ultimo tutto sembra indicare che non esiste naturalmente veruna luce calda nè alcun calor luminoso, dappoichè combinando convenientemente delle sostanze termanizzanti, come per esempio il vetro verde e l'allume, si perviene ad assorbire quasi tutto il calore, quasi senza attenuare lo splendor della luce, siccome in senso contrario si perviene con vetri neri o con cristallo di rocca affumicato ad assorbir quasi tutta la luce del sole, lasciando passare una considerevole proporzione del suo calore.

Ancora aggiungeremo che nelle combinazioni o sovrapposizioni delle sostanze termanizzanti, l'effetto pro-

dotto debb'essere indipendente dall'ordine di sovrapposizione; il che vien confermato dall'esperienza.

487. *Rifrazione del calore.* — Su di un sostegno si disponga un prisma di sal gemma (*fig. 350*), ed in qualche distanza una lucerna Locatelli; si cerchi la direzione del fascio luminoso emergente, quando la deviazione è minimum (381): ciò fatto si collochino dei tramezzi, e dispongasi l'asse della pila sulla direzione de' raggi rifratti dal prisma; allora l'ago del termo-moltiplicatore è deviato, non appena i tramezzi si abbassano, ed è deviato ancora nello stesso senso, quando alla lucerna viene sostituita la spira di platino, la piastra di rame a 400°, od anche il piccolo cubo ripieno di acqua bollente; poi cessa di esserlo, se girasi un poco la pila per farla uscire dal fascio rifratto. Adunque i calori di queste diverse sorgenti sono rifratti dal sal gemma, nè il loro indice di rifrazione è differentissimo dall'indice di rifrazione della luce.

Operando sulla luce del sole con un prisma di sale, che dia uno spettro bene distinto, si potrà studiare la vera composizione del calor solare: in tal modo si dimostra ch'essa contiene elementi di rifrangibilità diversissimi, essendo gli uni tanto rifrangibili quanto la luce violetta, e gli altri molto men rifrangibili della luce rossa; di modo che il massimo di effetto dello spettro calorifico trovasi al di là del rosso; si dimostra ancora che generalmente le sostanze termanizzanti assorbono in preferenza i raggi men rifrangibili, e fanno passare i più rifrangibili. Ora, siccome esse assorbono pure in preferenza il calore delle sorgenti men calde, ne risulta che, elevando la temperatura di una sorgente, si accresce la proporzione de' raggi calorifici più rifrangibili.

Ben si comprende che gli spettri solari prodotti con prismi di diverse sostanze non possono offrire la stessa distribuzion del calore, dappoichè queste sostanze assorbono elementi diversi: la quale osservazione è senza dubbio bastante a spiegare i diversi risultamenti ottenuti da' fisici prima che il Sig. Melloni avesse stabilito i principi del termanismo.

Un'altra conseguenza della rifrangibilità del calo-

re parimente confermata dall'osservazione, è la riflessione totale ch'esso prova sulla seconda superficie di un prisma di sal gemma, quando l'incidenza perviene ad un limite conveniente.

488. *Polarizzazione del calore.*—Ai due estremi di un tubo simile a quello della figura 304 si dispongano sulle loro incastrature delle pile di piastre formate con otto o dieci sottilissime lamine di mica, i cui assi di polarizzazione siano ben paralleli. Dinanzi da questo tubo evvi la sorgente di calore, posta nel foco di una lente di sal gemma di modo, che il fascio emergente, composto di raggi paralleli, vada ad attraversare di mano in mano le due pile di piastre; la pila termo-elettrica è a sua volta disposta per ricevere l'impressione del calore trasmesso. L'inclinazione delle piastre si può far variare sull'asse del tubo, ch'è anche quello del fascio di calore, e facendo girar l'incastratura dell'ultima piastra, si può, serbandone l'obbliquità, mettere il suo piano di rifrazione parallelo o perpendicolare al piano di rifrazione della prima. Queste due posizioni debbono dare de' raggi trasmessi disugualissimi, se il calore è realmente polarizzato attraversando le pile delle piastre. Ora l'esperienza dimostra questa disuguaglianza, siccome si vede nella tavola che segue.

Inclinazione delle pile sulla direzione dei raggi — Pile di 10 lamine.	TRASMISSIONI CALORIFICHE allorchè i piani di rifrazione sono:				Quantità di calore polarizzato su 100 raggi trasmesso nel caso del parallelismo dei piani di rifrazione.
	Parallele.		Perpendicolari.		
	Archi d'impulsione.	Forze.	Archi d'impulsione.	Forze.	
45°	29°8	26.5	17°2	14.9	43.7
43	31.4	28.5	16.5	14.3	49.8
41	33.3	30.2	15.4	13.3	56.0
39	35.2	31.6	14.0	16.2	61.6
37	36.5	32.5	12.3	10.8	66.9
35	36.9	32.9	10.6	9.3	71.9
33	36.7	32.8	9.0	7.8	76.3
31	33.8	30.8	7.0	6.1	80.3
29	30.9	28.0	5.3	4.6	83.6
27	27.9	24.3	3.8	3.3	86.6
25	23.2	19.9	2.4	2.1	89.2
23	17.7	15.3	1.6	1.4	91.1

Questa serie noi l'abbiamo scelta fra molte altre contenute nella Memoria del Sig. Melloni, le quali menano tutte agli stessi risultamenti. Il che ci concede di conchiudere che la proporzione di calore polarizzato cresce con l'obbliquità, ma che con un gran numero di lamine nelle pile di piastre esso giunge ad un *maximum*, che nelle maggiori obbliquità conserva, essendo l'inclinazione dove comincia il *maximum* di tanto più grande quanto più lamine vi sono.

Il Sig. Forbes, che ha fatto anche degl'importanti esperimenti su tal subbietto, aveva opinato che la proporzione di calore polarizzato cresca con la temperatura della sorgente; ma il Sig. Melloni dimostra che tal conseguenza non è conforme ai fatti, e che, se par che così sia quando si adoperano turmaline, ciò dipende dai loro diversi colori e dal loro termanismo diverso.

§. III. *Legge del raffreddamento, quantità di calore emanate e condizioni generiche dell'equilibrio di temperatura.*

Da Newton in poi, che stabilì il primo alcuni principi sul raffreddamento de'corpi, i più esperti fisici han fatto degli esperimenti e delle ricerche matematiche su tal soggetto. Intanto rimaneva la quistione inviluppata da insuperabili difficoltà, nè si erano fatti, che alcuni passi incerti verso la sua soluzione, allorchè pervennero a sciogliera compiutamente Dulong e Petit: il loro lavoro, che nel 1818 venne coronato dall'Accademia delle Scienze, è un modello di esattezza e d'invenzione, che mai con troppa attenzione non può essere studiato dai giovani fisici.

489. *Legge del raffreddamento nel voto.* — Dulong e Petit per far le osservazioni sul raffreddamento e per determinarne le leggi adoperarono i seguenti processi: *a* (*fig. 358*) vaso di rame pieno di acqua, che si mantiene ad una temperatura costante con l'agitamento e con una rinnovazione conveniente; *b* pallone di rame del diametro di 30 centimetri annerito al di dentro e sospeso nel mezzo del bagno, dov'è ritenuto dalle tra-

verse *c*; *d* otturatore di vetro doppio le cui due facce son piane; una di queste facce si applica sugli orli larghi e ben diritti del pallone, l'altra riceve il grosso tubo di vetro *e*, siccome il piatto della macchina pneumatica riceve una campana; questo tubo o piuttosto questa campana *e* è munita di una chiave *f*; *g* tubo di piombo, che fa comunicare il pallone con la macchina pneumatica, della quale si è disegnato solo il piatto *h*; *k* tubo di cloruro di calce destinato a disseccare il gas, che viene dalla gran campana *l* nel pallone, quando vuolsi osservare il raffreddamento ne' vari gas. I corpi, che si sottopongono al raffreddamento, sono de' grossi termometri a serbatoio sferico, aventi l'uno 3 centimetri e l'altro 6 di diametro; i loro tubi son sottilissimi in tutta la lunghezza che debb'essere chiusa nel pallone, ma la parte superiore è larga, affinchè la dilatazione corrispondente ad 1° non vi occupi più di 1 millimetro e mezzo. Questi termometri sono da un turacciolo fissati nell'otturatore *d*, e se ne tolgono via insieme con esso: si portano a 100, 200, 300° riscaldandoli con le cautele indicate nella figura 359.

Quando son giunti alla convenevole temperatura, si portano celeremente dentro al pallone; si alloga la campana *e* sull'otturatore; si fa il voto rapidamente, e dopo alcuni momenti notasi il *zero* del tempo, e la temperatura corrispondente del termometro sottoposto al raffreddamento: l'eccesso di questa temperatura su quella del circuito è l'eccesso iniziale; poi continuando il raffreddamento, si osservano gli eccessi di temperatura ad istanti più o meno prossimi, leggendo sempre sul cronometro l'istante preciso, che corrisponde all'eccesso osservato. In tal modo per ciascuna esperienza si ottiene una lunga serie di risultamenti, e la legge del raffreddamento dee stabilire la correlazione matematica, che gli liga. Newton aveva ammesso che la legge del raffreddamento poteva essere espressa dalla correlazione

$$t = cb_t ,$$

essendo c l'eccesso iniziale, z il tempo trascorso, t il corrispondente eccesso di temperatura, e b una costante particolare variabile da un corpo all'altro. La velocità v del raffreddamento non essendo altro, che la corrispondenza esistente tra l'abbassamento di temperatura in un tempo brevissimo e questo tempo medesimo, od il coefficiente differenziale dell'eccesso di temperatura rispetto al tempo, dalla legge di Newton si deduce:

$$v = t \log. b;$$

cioè che le velocità sarebbero proporzionali agli eccessi di temperatura.

Ma facil cosa è il riconoscere che queste formole, le quali benissimo rappresentano le esperienze, quando gli eccessi non oltrepassano 20 in 30°, diventano del tutto insufficienti e poco esatte per eccessi di temperatura alquanto considerevoli.

Adunque Dulong e Petit le hanno modificate per calcolarne i risultamenti; essi hanno adottato:

$$t = c\, b^{mz + nz^2}$$

per la formola che liga gli eccessi al tempo, ed in seguito

$$v = t\,(m + 2\,n\,z) \log. b.$$

per la formola che liga le velocità agli eccessi.

Allora per mettere queste novelle formole alla prova, nella serie de' risultamenti, che compongono come vedemmo un'osservazion di raffreddamento, si prendono tre eccessi, che non siano troppo l'uno dall' altro lontani ed i tre tempi corrispondenti, e sostituendoli nella prima formola con l'eccesso iniziale c, hannosi tre equazioni per calcolare le tre costanti b, m, n. Queste costanti calcolate si sostituiscono nella seconda formola, che dà così la velocità v per tutti gli eccessi intermedi compresi fra i tre risultamenti, che hanno servito a determinar le costanti. Se i tre risultamenti scelti nella serie so-

no troppo lontani l'uno dall'altro, è facile ad assicurarsi che la prima formola non rappresenta con esattezza i risultamenti dell'osservazione. In tal modo, dopo avere per esempio calcolato le velocità per il primo quinto della serie, si fa un'altra determinazione delle costanti con tre risultamenti scelti nel secondo quinto, ecc. E ben si comprende che in tal guisa procedendo si giungono ad ottener esattissime velocità per tutta l'estensione di ciascuna serie: e queste sono quelle velocità, che noi diremo *velocità osservate*, conciossiachè col fatto si deducano immediatamente dall'osservazione.

Ecco ora i risultamenti ottenuti per cinque serie fatte con lo stesso termometro, avente la medesima superficie vitrea, gli stessi eccessi sulla temperatura del circuito, ma il circuito avente anch'esso delle temperature diverse per ciascuna serie, cioè 0 per la prima, 20° per la seconda, ecc.

ECCESSI di temperatura del termometro, superficie vitrea.	VELOCITA' DEL RAFFREDDAMENTO				
	circuito a 0°.	circuito a 20°.	circuito a 40.°	circuito a 60.°	circuito a 80°
240°	10°,69	12°,40	14°,35	»	»
220	8, 81	10, 41	11, 98	»	»
200	7, 40	8, 58	10, 01	11°,64	13°,45
180	6, 10	7, 04	8, 20	9, 55	11, 05
160	4, 89	5, 67	6, 61	7, 68	8, 95
140	3, 88	4, 57	5, 32	6, 14	7, 19
120	3, 02	3, 56	4, 15	4, 84	5, 64
100	2, 30	2, 74	3, 16	3, 68	4, 29
80	1, 74	1, 99	2, 30	2, 73	3, 19
60	»	1, 40	1, 62	1, 88	2, 17

Vedesi che per lo stesso eccesso la velocità di raffreddamento non è indipendente dalla temperatura del circuito: questa velocità cresce rapidamente, siccome la

temperatura del circuito s'innalza: per esempio nel circuito ad 80° la è quasi doppia di quella del circuito a 0. Di più facilmente si riconosce che la corrispondenza delle velocità di due serie è costante per tutti gli eccessi, e che, se vien rappresentato da r paragonando la seconda serie alla prima, diventa r^2 paragonando la terza alla prima, r^3 ed r^4 paragonando del pari la quarta e la quinta alla prima. Sicchè, quando la temperatura del circuito cresce in progressione aritmetica, la cui ragione è 20°; la velocità di raffreddamento cresce in progressione geometrica, la cui ragione è r, essendo 1,165 il valore di r.

E questo risultamento fondamentale è stato quello, che ha condotto Dulong e Petit alla vera legge del raffreddamento.

Notiamo in fatti che la velocità, la qual dà l'osservazione, non è altro se non la differenza tra la *velocità assoluta* di raffreddamento che il corpo proverebbe se niente ricevesse, e la *velocità di riscaldamento* che gli dà il circuito col calor che gli manda. Ora nell'equilibrio la velocità di riscaldamento comunicata dal circuito essendo uguale alla velocità assoluta di raffreddamento del corpo, e l'equilibrio così stabilendosi in ogni temperatura; ne risulta evidentemente che queste due contrarie velocità sono sottoposte alla legge medesima, e che siffatta legge non può esser diversa da quella testè confermata per le velocità osservate.

Dunque sia m la velocità assoluta di raffreddamento del corpo per la temperatura 0, $ma^{t+\theta}$ sarà la sua velocità per la temperatura $t+\theta$. Sia k la velocità assoluta di raffreddamento del circuito supposto alla temperatura 0, quella cioè che avrebbe luogo, se il calorico invece di uscire da un punto della sua parete per andare a cader su di un altro, fosse distrutto o assorbito nel momento stesso ch'esce: tutto questo calore partito da tutt'i punti del circuito non giunge al corpo; in fatti non ne riceve nè ne assorbe che una porzione atta di dargli una velocità di riscaldamento uguale ad m. Nella temperatura θ il circuito avrebbe una velocità assoluta di

raffreddamento $k\,a^{\theta}$, ed allora la velocità di riscaldamento, che il corpo ne riceverebbe, sarebbe ma^{θ}. Sicchè in conclusione, quando il circuito è alla temperatura θ ed il corpo alla temperatura $t+\theta$, la sua velocità reale di raffreddamento v è uguale ad $ma^{t+\theta}; -ma^{\theta}$, dal che:

$$v = ma^{\theta}\,(at - 1),$$

ch'è l'espressione vera della legge del raffreddamento.

Per verificarla con l'esperienza ei basta prendere le serie da noi riferite od altre consimili, di determinar prima a ed m, e poi sostituendo a t i vari eccessi osservati, dedurne i corrispondenti valori di v, per paragore queste *velocità calcolate* a quelle che risultano dalla formola $v = (m + 2\,n\,z)$ log. b, e della frazione delle serie, che noi abbiamo dette *velocità osservate*.

Dapprima si ottiene di leggieri a, poichè da noi si è veduto che, facendo crescer di 20° la temperatura θ del circuito la correlazione r delle velocità era 1, 165; ne risulta da ciò $a^{20} = 1,165$ ed $a = 1,0077$; dippiù paragonando altre serie ottenute con altri corpi raffreddanti, sempre si ricade in questo stesso valor numerico di a: il che permette di conchiudere che nella legge del raffreddamento il valore di a è del tutto indipendente dalla natura de' corpi.

In seguito per avere m si sostituiscono a v, a θ e t alcuni de' valori presi nelle serie: si prende la media dei risultamenti, a' quali essi menano per m, che rimane in tal caso il solo incognito. In tal guisa le serie da noi riferite danno $m = 2,037$, e tutte le serie che potranno farsi con lo stesso istrumento meneranno allo stesso valore: ma questo valore cambia passando da un corpo raffreddante ad un altro.

Adunque a nella legge del raffreddamento è un costante assoluto, ed m il costante che distingue il corpo sottomesso al raffreddamento. Ma per un corpo medesimo, di cui si cangia la superficie soltanto, essendo le velocità manifestamente proporzionali alle quantità di

calore perdute e quindi a' poteri emissivi, ne risulta che il valore di m è esso medesimo proporzionale al potere emissivo del corpo che si raffredda.

Quando l'eccesso t non è considerevolissimo, nello sviluppo di a^t si può negligere il termine $\frac{1}{2}(t\,l'\,a)^2$ e le seguenti, ed allora si ha:

$$v = m\,a\,\theta\,l'\,a.\,t,$$

cioè che in questo caso la velocità di raffreddamento è proporzionale all' eccesso di temperatura conforme alla legge di Newton. Ma facil cosa è il vedere che questa legge non può essere esatta per eccessi di temperatura, che oltrepassino 20 in 30°; dappoichè il logaritmo decimale di a essendo 0,0033313, ed il suo logaritmo neperiano 0,0076676; per $t = 30$, $\frac{1}{2}(t\,l'a)^2$ è quasi $\frac{1}{40}$; dal che segue che secondo la legge del Newton si farebbe sulla velocità un error più grande di $\frac{1}{40}$ del suo valore: per un eccesso di 50° l'errore sarebbe più di $\frac{1}{10}$.

Essendo nota l' espressione generica della velocità di raffreddamento, nè altro essendo questa espressione che il coefficiente differenziale della variazione di temperatura rispetto al tempo, è facile con una semplicissima integrazione di passar *dalla legge della velocità alla legge del tempo*. Ma noi ci dobbiamo qui limitare a dar questa legge del tempo come un risultamento del calcolo; essa viene espressa dalla seguente formola:

$$z = \frac{1}{ma\theta\,\log.\,a}\,\log.\left\{\frac{a^t\,a^s - 1}{a^s\,a^t - 1}\right\}:$$

m, a, θ e t dinotano le stesse cose che nella legge della velocità; s rappresenta l' eccesso iniziale, cioè l' eccesso di temperatura pel quale il tempo è o, e dal quale per conseguenza incominciando il tempo z debb' essere calcolato.

Questa formola essendo una conseguenza necessaria di quella della velocità trovasi indirettamente fatta certa dalla verificazione della prima: nondimeno se ne

volessero trarre verificazione dirette basterebbe determinare le costanti m ed a, sostituirvi gli eccessi t e dedurne i valori de' tempi z per paragonarli a quelli dell' osservazione.

490. *Legge del raffreddamento ne'gas.* — Quando un corpo è sottoposto al raffreddamento in un circuito ripieno di gas, esso perde il suo calore per due cagioni, pel raggiamento e pel contatto dello stesso gas, le cui correnti si rinnovano con maggiore o minore attività. Per discernere l'influenza di queste due cause Dulong e Petit hanno fatte dapprima varie serie di esperimenti con lo stesso termometro, ma dando alla sua superficie diversissimi poteri emissivi, lasciandola per esempio vitrea e ricovrendola di sfoglie di argento. Ora, se dalle velocità osservate nel gas si diffalcano le velocità osservate nel voto, si trovano identicamente gli stessi risultamenti, qualunque sia lo stato della superficie; adunque è permesso di conchiudere che questi risultamenti identici esprimono realmente la velocità dovuta al contatto dello stesso gas, e che per tal modo queste velocità sono del tutto indipendenti dallo stato di superficie de' corpi.

Stabilito una volta questo principio fondamentale diventa facile il determinare le velocità di raffreddamento in tutt' i gas a pressioni ed a temperature diverse, poichè basta avere la costante m del termometro, di calcolare le sue velocità di raffreddamento nel voto, e di diffalcarle dalle velocità osservate ne' gas. Ed in tal guisa procedendo Dulong e Petit han ritrovato, per l'espressione v' della velocità di raffreddamento dovuta al solo contatto di un fluido elastico, che altro moto non hà se non quello risultante dalle correnti prodotte dalle differenze di temperature,

$$v' = g.\, h^c.\, t_b :$$

b è lo stesso per tutt' i termometri e per tutt' i gas ed uguale ad 1,233; c è lo stesso ancora per tutt' i termometri, ma varia da un gas ad un altro: esso è uguale a 0,45 per l'aria; a 0, 38 per l'idrogeno; a 0,517 per

l'acido carbonico, ed a o, 501 pel gas oleificante: h è l'elasticità del gas; t è l'eccesso di temperatura; g è un coefficiente che varia con la natura del gas ed anche con la natura del corpo sottoposto al raffreddamento.

491. *Equilibrio di un termometro in un circuito tutte le parti del quale non sono alla stessa temperatura.* — Sia 1 l'intera superficie del circuito sferico, k la porzione di questo circuito, che trovasi alla temperatura s, ed $1-k$ la porzione che sta alla temperatura θ; noi per semplicità maggiore ammettiamo che il loro poter riflettente sia nullo: il termometro dovrà per l'equilibrio prendere nel centro di questo circuito al di sopra di θ una temperatura ignota t che si tratta di determinare.

Essendo la sua temperatura $t+\theta$; la sua velocità assoluta di raffreddamento è $ma^{t+\theta}$; ma dal lato della porzione $1-k$ del circuito esso riceve una velocità di riscaldamento $m(1-k)a^{\theta}$, e dal lato della porzione k una velocità di riscaldamento mka^{s}: adunque la sua diffinitiva velocità di raffreddamento è:

$$ma^{t+\theta} - m(1-k)a^{t} - mka^{s}.$$

Ma bisogna per l'equilibrio che questa velocità sia nulla: il che dà per determinare t la correlazione:

$$a^{t} = 1 + k(a^{s} - 1).$$

Il circuito invece di sferico potrebb'essere solamente cilindrico; nel qual caso vuolsi valutare k convenevolmente.

Con questo principio ho determinato nel 1824 la temperatura de' corpi pel loro raggiamento, e la temperatura del globo del sole; i circuiti erano chiusi con vetro: e non ci vorrebbero emende chiudendoli con sal gemma.

492. *Espressione della total quantità di calore tramandata da' corpi.* (Estr. *dalla mia Mem., Conti resi dell'Accademia* 1838.) — Un corpo, il cui potere emissivo è f e la cui temperatura è $t+\theta$, traman-

da nell'unità di tempo con l'unità di superficie una quantità totale di calore e, ch'è espressa dalla formola:

$$e = g.f.\ a^{t+\theta}.$$

g essendo una costante comune a tutt'i corpi senza distinzione il suo valore è 1, 146, quando prendesi il centimetro quadrato per unità di superficie ed il minuto per unità di tempo; a è sempre uguale ad 1, 0077.

Supponiamo di fatto questo corpo sferico di una superficie s, nel centro di un circuito parimente sferico di una superficie s' avente una temperatura θ, e emamanante con l'unità di superficie nell'unità di tempo una quantità di calore e', essendo totale il suo potere emissivo ed uguale a 1. La quantità di calore emanata dal corpo è $e\,s$, quella emanata dal circuito è $e'\,s'$, della quale il corpo riceve $e'\,s'$ sen.$^2\,\omega$, ed assorbe $e'\,f'\,s'$ sen.$^2\,\omega$.

Adunque l'intera perdita del corpo in quantità di calore è: $es - e'\,f\,s'$ sen.$^2\omega$; ovvero $es - e'\,sf = s\,(e - e'\,f)$; o finalmente mettendo per e il suo valor precedente e per e' il suo valore $g\,a^{\theta}$, poichè pel circuito $f = 1$,

$$sgf\,(a^{t+\theta} - a^{\theta}).$$

Sia ora p il peso del corpo e c la sua capacità pel calore: per ogni unità di calore che perde, la sua temperatura si abbassa di $\frac{1}{cp}$; quindi per la perdita di calore precedente, il suo abbassamento di temperatura nell'unità di tempo o la sua velocità di raffreddamento sarà:

$$\frac{sgf}{cp}.\,(a^{t+\theta} - a^{\theta})$$

E perchè questa formola coincida con quella di Dulong e Petit ei basterà di fare:

$$m = \frac{sgf}{cp}.$$

Ora il valore di m essendo in realtà in ragione diretta della superficie del corpo e del suo potere emissivo, ed in ragione inversa del suo peso e della sua capacità, bisogna del tutto che sia rigorosa l'espressione di e.

Ed è dietro i valori di m, f, c e p tratti dall'esperienze di Dulong e Petit che si conchiude $g = 1,146$.

Riesce facile ancora il vedere che un corpo, il qual perdessse il suo calore senza riceverne, impiegherebbe per cadere dalla temperatura s alla temperatura t un numero z di minuti espresso dalla formola:

$$z = \frac{c.p}{s.g.f.\log.a}\left(\frac{a^{s-t}-1}{a^{s}}\right).$$

493. *Equilibrio di temperatura de' corpi protetti da un inviluppo diatermano* (*Estr. della mia Mem., Conti renduti dell' Accademia*, 1838). — Siano s, s'', s' le superficie di un corpo, di un inviluppo diatermano, e di un circuito concentrico e sferico; l'inviluppo sta tra il corpo ed il circuito; siano e, e'', e' le quantità di calore emanate nell'unità di tempo dall'unità di ciascuna delle tre superficie; sia b il potere assorbente, che l'inviluppo diatermano esercita sul calore emanato dal globo, e b' il poter assorbente, ch'esercita sul calore emanato dal circuito.

Nell'unità di tempo il globo emana una quantità di calore es: una porzione $b\,es$ è assorbita dall'inviluppo, ed una porzione $(1-b)\,es$ attraversa l'inviluppo per giungere al circuito.

Il circuito emana una quantità di calore $e'\,s'$; una porzione $e'\,s'$ sen.$^2\omega$ cade sull'inviluppo diatermano (ω è il semi-angolo sotto cui il circuito vede l'inviluppo); questo ne assorbe una porzione $e'\,s'\,b'$ sen.$^2\omega$, e ne lascia passar una porzione $e'\,s'\,(1-b)$ sen.$^2\omega$.

L'inviluppo emana una quantità di calore $e''\,s''$ verso il globo ed una quantità di calore uguale verso il circuito.

La somma delle quantità di calore, che perde l'in-

viluppo, è uguale alla somma delle quantità di calore ch'esso riceve; il che dà una prima equazione:

$$2\, e''\, s'' = b\, e\, s + b'\, e'\, s' \text{ sen.}^2\, \omega.$$

Parimente pel globo e per il circuito si hanno altre due equazioni che riproducono la prima:

$$es = e''\, s'' + (1 - b')\, e'\, s' \text{ sen.}^2\, \omega.$$

$$e'\, s' \text{ sen.}^2\, \omega = e''\, s'' + (1 - b)\, e\, s.$$

Supponendo che l'inviluppo diatermano abbia poca doppiezza, e che il suo raggio di poco ecceda quello del globo, siccome accade per l'atmosfera d'intorno alla terra, ei si ha $s = s'' = s' \text{ sen.}^2\, \omega$, e le due precedenti equazioni diventano

$$e = e'' + (1 - b')\, e',$$

$$e' = e'' + (1 - b)\, e.$$

E traendone i valori di $\frac{e}{e'}$, $\frac{e}{e''}$, $\frac{e'}{e''}$, ed uguagliandoli a' valori di $\frac{e}{e'}$, $\frac{e}{e''}$, $\frac{e'}{e''}$ dedotti dalle correlazioni.

$$e = g.\, a^t\,;\; e' = g.\, a^{t'}\,;\; e'' = g.\, f''\, a^{t''},$$

ch'esistono in virtù del precedente teorema, quando si dinotano con t, t'', t' le temperature del globo, dell'inviluppo e del circuito, e che il potere emissivo dell'inviluppo si suppone uguale ad f'' e gli altri due uguali all'unità, finalmente si perviene all'espressioni:

$$a^{t-t'} = \frac{2 - b'}{2 - b},$$

$$a^{t-t''} = f''.\, \frac{2 - b'}{b + b' - bb'},$$

$$a^{t'-t''} = f''. \frac{2-b'}{b+b'-bb'}, \quad (5)$$

che danno in tutt' i possibili casi le differenze di temperature volute dalle condizioni di equilibrio tra il globo ed il circuito, il globo e l'inviluppo, il circuito e l'inviluppo. E ben si scorge che queste differenze dipendono essenzialmente da' valori relativi di b e di b', cioè dai valori relativi de' poteri assorbenti che l' inviluppo diatermano esercita sul calor del globo e sopra quello del circuito.

Questo teorema generale; che d' altra parte si potrebb' estendere a molti inviluppi, rende compiute le condizioni di equilibrio, che si stabiliscono per via del raggiamento.

§. IV. *Conducibilità de' corpi pel calore.*

494. La *conducibilità* è la proprietà, di cui godono i corpi, di assorbire il calore e di spanderlo per la massa loro. Si fa distinzione tra la *conducibilità esterna* o la *penetrabilità*, e la *conducibilità propria* o la *permeabilità*. Mercè la sua penetrabilità un corpo lascia passare il calorico dalla sua superficie a quella di un corpo contiguo o *viceversa*; mercè la permeabilità sua lascia passare il calorico da un punto ad un altro della sua massa. Per esempio, essendo una sbarra di ferro immersa da un de' suoi estremi in un bagno di piombo liquefatto, si sa che il calore a poco a poco guadagna sulla lunghezza della sbarra, e che si fa infine sentire fino ad una grande distanza. Ora la quantità di calore, ch' entra da una data porzione della parte immersa dipende dalla penetrabilità; e quella che passa da una sezione alla sezione seguente dipende dalla penetrabilità e dalla permeabilità, dappoichè dipende dalle perdite, ch' esternamente si fanno dalla superficie libera e dalla facilità onde il calorico si propaga da una molecola del ferro alla seguente.

495. *Conducibilità de' solidi.* — Quando si vuole

semplicemente comprovare la disugual conducibilità dei diversi corpi, si può far uso dell' apparecchio d' Inghenouz (*fig. 351*). Il quale è composto di una piccola cassa *a* di rame, sopra un lato della quale si fissano perpendicolarmente de' piccoli cilindri *c* di diverse sostanze, dello stesso diametro, ciascuno de' quali è coperto di uno strato di cera. Versando nella cassa dell'acqua bollente o dell' olio caldissimo, il calore penetra ne' cilindri e fa sciogliere la cera, che li ricopre: per alcuni la cera si liquefà ad una gran distanza dalla cassa, questi sono i migliori conduttori; per altri solo ad alcune linee di lontananza, questi sono i cattivi conduttori.

Ma, quando si vogliono valutare le corrispondenze numeriche delle conducibilità de' diversi corpi, si suole avere ricorso ad altre considerazioni e ad altre sperienze. Dapprima si dimostra col calcolo (*Ved. i trattati di Fourier e del Sig. Poisson*), che, se una sbarra cilindrica o prismatica avente una sezione *a*, un contorno *e*, *una conducibilità esterna h*, ed una *conducibilità interna k*, trovasi per una delle sue estremità immersa in una sorgente di temperatura costante, e che abbia avuto il tempo di mettersi in equilibrio, essendo l'aria che l' inviluppa essa stessa mantenuta ad una temperatura costante più bassa di quella della sorgente, evvi allora tra l' eccesso di temperatura *z* di una delle sue sezioni e la distanza *d* da questa sezione alla sorgente, una corrispondenza particolare espressa dall' equazione:

$$z = mr^{-d} + nr^{d}$$

m ed *n* sono due costanti; il valore di *r* è dato da $r = e^{b}$; *e* è la base de' logaritmi neperiani; e $b^{2} = \frac{ch}{ak}$. (4)

Dietro la forma di questa equazione riesce facile il dimostrare con semplici sostituzioni che, considerando nella sbarra diverse sezioni, le cui distanze dalle sorgenti espresse da d_1, d_2, d_3 ..... crescono secondo una progressione aritmetica, la cui ragione sia *i*, gli eccessi di temperatura corrispondenti z_1 z_2 z_3 godranno di tal pro-

prietà: che se si fa la somma di due qualsivogliano degli ordini dispari consecutivi e poi si divide per quella di ordine pari che li separa, sempre si avrà lo stesso quoziente; che lo stesso sarà di due degli ordini pari divisi per quello di ordine dispari che li separa; cioè si avrà sempre:

$$\frac{z_1 + z_3}{z_2} = \frac{z_2 + z_4}{z_3} = \frac{z_3 + z_5}{z_4}$$

ed il valore di questo quoziente è $r^{-i} + r^{i}$, ovvero $e^{-bi} + e^{bi}$.

Questa proprietà è stata col fatto verificata dal Sig. Despretz su di alcuni metalli buoni conduttori, come il rame ed il ferro; il Sig. Despretz procedeva così: la sbarra metallica di 21 millimetri di lato era orizzontalmente disposta (*fig. 352*); di decimetro in decimetro aveva un buco ripieno di mercurio di 6 millimetri di diametro e di 14 millimetri di profondità; quivi erano immersi i termometri di osservazione; l'estremo della sbarra era scaldato dalla fiamma di una lampada; e due o tre ore bisognavano, perchè si potesse stabilir l'equilibrio; il numero de' termometri era 6. Ecco il risultamento dell'esperienze pel rame.

Distanze dei termometri.	Eccessi di temperatura.	Quoziente di due eccessi per un eccesso interm.	Quoziente di due eccessi consecutivi.
100 mm. . .	66° 4		. . . . . 1. 4
200	46. 3	2. 14	. . . . . 1. 4
300	32. 6	2. 15	. . . . . 1. 4
400	24. 5	2. 11	. . . . . 1. 4
500	18. 6	2. 17	. . . . . 1. 4
600	16. 2		. . . . . 1. 4

Il che conferma con molta esattezza la proprietà di cui si tratta; ma pe' corpi meno buoni conduttori, come lo zinco, lo stagno ed il piombo, questa proprietà cessa di confermarsi tanto esattamente: pel marmo l'allontanamento è tale che uno di questi quozienti è triplo dell'altro; e pe' corpi meno buoni conduttori del marmo,

come la porcellana e la terra cotta l'allontanamento è maggiore ancora.

Le sostanze, per le quali il *quoziente della somma di due eccessi per l'eccesso intermedio è costante*, sono le sole, di cui si possa determinar la conducibilità con esperienze di tal natura. Al che si giunge in tal caso del modo seguente: si scelgono delle sbarre della stessa dimensione, si coprono di uno strato di vernice, perchè perdano egualmente e pel raggiamento e pel contatto dell'aria, e si spazieggiano nella stessa guisa i termometri di osservazione. In queste circostanze a, e, h ed i sono gli stessi. Sia $2q$ il quoziente per una delle sostanze aventi una conducibilità k, e $2q'$ per un'altra avente una conducibilità k'; si avrà per la prima e per la seconda:

$$e^{-bi} + e^{bi} = 2q \; ; \; e^{-b'i} + e^{b'i} = 2q'.$$

Dal che di leggieri si trae:

$$e^{bi} = q + \sqrt{q^2 - 1} \; ; \; e^{b'i} = q' + \sqrt{q'^2 - 1};$$

e per conseguenza:

$$b^2 = \{\log.(q + \sqrt{q^2 - 1})\}^2; \; b'^2 = \{\log.(q' + \sqrt{q'^2 - 1}\}^2;$$

$$\text{dal che } \frac{k}{k'} = \left\{\frac{\log.(q' + \sqrt{q'^2 - 1})}{\log.(q + \sqrt{q^2 - 1})}\right\}^2.$$

Si dimostra parimente col calcolo che, quando la sbarra ha una grande larghezza, la correlazione tra l'eccesso di temperatura z di una sezione e la distanza d di questa sezione riducesi ad

$$r = s\, r^{-d} \; ;$$

dovendo la costante dell'altro termine r^d ovvero e^{bd} esser nulla, poichè senza di ciò questo termine avrebbe un valore infinito per d infinito i, il che non può essere:

l'eccesso di temperatura per questa sezione situata ad un'infinita distanza dalla sorgente dovendo essere per lo contrario uguale a zero; in questo caso s è l'eccesso della temperatura della sorgente stessa sulla temperatura ambiente, conciossiachè $d = o$ dà $z = s$.

Ei ne risulta che *le distanze dalla sorgente crescono in progressione aritmetica, gli eccessi corrispondenti crescono in progressione geometrica.* Essendo queste distanze col fatto d_1, d_2, d_3....; con $d_2 - d_1 = i$, $d_3 - d_2 = i$, ecc. e gli eccessi corrispondenti essendo z_1, z_2, z_3, ecc., ei si avrà manifestamente:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{z_2}{z_3} = \frac{z_3}{z_4} = r^i = e^{bi},$$

Gli è anche ciò che trovasi verificato dagli esperimenti già citati del Sig. Despretz. Questa eguaglianza de' quozienti degli eccessi consecutivi trae seco essa medesima quella della somma di due eccessi per l'eccesso intermedio, dappoichè le precedenti uguaglianze manifestamente danno:

$$\frac{z_3 + z_1}{z_2} = \frac{z_4 + z_2}{z_3} = \text{ecc.}$$

Se si rappresenta con g uno de' precedenti quozienti si avrà $e^{bi} = g$. Per un'altra sostanza delle stesse dimensioni in doppiezze, dove i termometri fossero spazieggiati allo stesso modo, si avrebbe $e^{b'i} = g'$. Dal che riesce facile conchiudere, come dianzi:

$$\frac{k}{k'} = \left\{ \frac{\log. g'}{\log. g} \right\}^2.$$

E si può notare, che per giungere alla corrispondenza delle conducibilità è del tutto indifferente di prendere i quozienti degli eccessi consecutivi, quando sono eguali, o di prendere i quozienti della somma de' due eccessi divisa per l'eccesso intermedio; potendosi uno

di questi quozienti dedurre dall' altro ed i risultamenti sono identici.

La correlazione $z = sr^{-d}$ ovvero se^{-bd}, mena eziandio a tre conseguenze che noi dobbiamo parimente indicare.

Per una sostanza medesima, supponendo due sbarre quadrate di diverse doppiezze l, l' nell'una avrebbesi $b^2 = \frac{4h}{lk}$, nell'altra $b'^2 = \frac{4h}{l'k}$, dal che $\frac{b'^2}{b^2} = \frac{l'}{l}$; da un'altra parte chiamando z' l'eccesso della seconda per la distanza d', avrebbesi $z' = se^{-b'd'}$, e se si vuole che questi eccessi siano eguali, è facile il vedere che ne risulta:

$$\frac{l'}{l} = \frac{d'^2}{d^2};$$

cioè che le distanze dalla sorgente, per le quali gli eccessi sono eguali, sono precisamente tra loro, come le radici quadrate delle doppiezze. In questo caso si otterrebbero quozienti costanti, g per la prima e g' per la seconda, che possono anche essere ligate alle doppiezze, dappoichè si avrebbe:

$$e^{bi} = g, \; e^{b'i} = g';$$

$$\text{dal che } \frac{l'}{l} = \left\{ \frac{\log. g}{\log. g'} \right\}^2;$$

cioè che le radici quadrate delle doppiezze sono in ragione inversa de' logaritmi de' quozienti.

Per due sostanze diverse e delle stesse dimensioni si avrebbe $\frac{b^2}{b'^2} = \frac{k'}{k}$, e per eccessi eguali $\frac{k'}{k} = \frac{d^2}{d'^2}$; cioè che le conducibilità sono tra loro come i quadrati delle distanze dalla sorgente, per le quali gli eccessi sono eguali.

Seguendo gl' indicati processi il Sig. Despretz è giunto a questi risultamenti:

Oro	1000	Ferro	374
Platino	981	Zinco	363
Argento	973	Stagno	303
Rame	898	Piombo	180

Ordinariamente suol darsi anche 23 per la conducibilità del marmo, ed 11 in 12 per quella della porcellana e della terra cotta; ma incertissimi sono questi numeri, dappoichè non si può il processo applicare a queste sostanze.

Del rimanente noi dobbiamo osservare che la teorica della conducibilità, di cui riferimmo testè le formole, essenzialmente suppone che le perdite di calore siano proporzionali agli eccessi di temperatura; ma questa legge del Newton essendo vera solo per piccoli eccessi, le conseguenze delle formole non sono vere esse stesse che in questi limiti; adunque si rende necessario negli esperimenti di non paragonare tra loro che sezioni, i cui eccessi siano pochissimo diversi, o ravvicinando abbastanza il termometro di osservazione, o dando alle sostanze, che si provano, molto più considerevoli doppiezze.

Queste diverse condizioni non impediscono negli esperimenti il paragone delle conducibilità.

Siano di fatto due sostanze, per le quali si siano ottenuti i quozienti g e g' degli eccessi consecutivi; essendosi g ottenuto con una doppiezza di sbarra l ed una distanza i tra' termometri; g' con una doppiezza l' ed una distanza i'. È facile il vedere che si avrà:

$$\frac{k}{k'} = \frac{i'^2}{i^2} \cdot \frac{l}{l'} \left\{ \frac{\log. g'}{\log. g} \right\}^2,$$

sotto la sola condizione che l'esterne conducibilità h ed h' siano le stesse.

496. *Conducibilità de' fluidi.* — La propagazione del calore ne' fluidi si fa generalmente mercè le correnti moltiplicate, che la stabiliscono necessariamente con queste differenze di densità, che risultano esse medesi-

me dalle differenze di temperatura. Queste correnti sono rese visibili nell'acqua, per mezzo di piccioli corpi galleggianti nella massa, come della segatura di legno finissima: quando si scalda per esempio dell'acqua con molta lentezza pel fondo in una campana rovesciata (*fig. 353*), si vedranno le correnti ascendenti stabilirsi nel centro e le correnti discendenti seguir le pareti. Lo stesso è de' gas, come si può dimostarlo con un gran numero di esperimenti. Intanto, se le masse fluide fossero riscaldate in modo, che l'equilibrio idrostatico non potess'essere turbato; chiaro è che allora il calore vi si trasmetterebbe di mano in mano come ne'solidi; imperocch'è manifesto che anche i corpi hanno una conducibilità propria, chè se ne fossero sprovveduti, essi non potrebbero nè riscaldarsi nè raffreddarsi, nè acquistare densità differenti per effetto del calore. Il Sig. Despretz ha recentemente tentato di dimostrar questa conducibilità con l'esperienza, prendendo colonne di acqua un metro alte, e riscaldandole dalla cima mediante un rinnovamento di acqua calda. Egli ha operato in tal guisa sopra due colonne diverse aventi diametri di 218^{mm} e 405^{mm}. I termometri di osservazione essendo spazieggiati di 45^{mm}, bisognavano circa trenta ore, perchè l'equilibrio fosse ristabilito. I quozienti degli eccessi consecutivi sono stati costanti, il primo eguale ad 1, 6 ed il secondo ad 1, 4; i loro logaritmi sono veramente in ragione inversa delle radici quadrate de' diametri, siccome si doveva aspettare. Introducendo queste condizioni nella formola precedente per paragonar la conducibilità del rame a quella dell'acqua, trovasi che la prima è 95 volte maggiore della seconda; così nella tavola precedente la conducibilità dell'acqua sarebbe espressa da 9 ovvero 10.

L'aria ed i gas sono pessimi conduttori: ma le conducibilità loro non potrebbero essere studiate co'processi da noi descritti, dappoichè rimanendo i termometri di osservazione sottoposti al raggiamento, le indicazioni loro non accuserebbero le temperature de'diversi strati. Il sol genere di esperienze, che prova la cattiva conducibilità de'gas e spezialmente dell'aria, è la lentezza de' riscal-

damenti e de' raffreddamenti de' corpi, che sono protetti da strati di aria, quando la mobilità della stess' aria è impedita da corpi separatissimi, come la paglia, la lana, la seta, la peluria e tutte le sostanze filamentose. Sicchè la mala conducibilità delle nostre vesti, delle pellicce, e di tutt' i corpi di tal sorta dipende da 2 cagioni: dal perchè tutt' i corpi dilicati e separati, anche le polveri metalliche, sono cattivi conduttori in sè stessi; e dal perchè l'aria che riempie gl' intervalli, e la cui mobilità viene impedita da un gran numero di piccioli ostacoli, è pur essa un cattivo conduttore del calore. Epperò bisogna porre ben cura di comprimere questi corpi e di premerli per escluderne l' aria: la bambagia o la peluria compressi come il cartone diventerebbero buonissimi conduttori; siccome anche migliori diventerebbero, se i filamenti loro non fossero molto approssimati da impacciare i movimenti dell' aria. Appena è necessario di aggiungere che que' corpi, detti *caldi*, non sonlo mica per sè stessi, essi impediscono solo la via al calore, e non sono meno atti ad impedire lo scioglimento del ghiaccio nell'està, che ad impedire nell' inverno il raffreddamento de' corpi, che inviluppano.

CAPITOLO II.

Calorimetria.

§. I. *Capacità de' corpi pel calore.*

497. *Delle quantità di calore, e de' mezzi di paragonarle.* — Da noi si ammette come un principio di per sè stesso evidente che, per produrre uno stesso effetto, bisogna sempre una medesima quantità di calore. Per esempio, essendo un chilogrammo di ferro alla temperatura di 10°, se in un qualsiasi modo passa a quella di 11°, noi ammettiamo che riceve sempre la stessa quantità di calore, o che il calore gli vada dal sole o da un focolare, o che gli vada dal contatto o dal raggiamento di un qualsiasi corpo. Del pari un chilogrammo di ghiaccio a 0° prende sempre la stessa quantità di calore per sciogliersi, ed un chilogrammo di acqua a 100° prende sempre la stessa quantità di calore per evaporarsi. Da un'altra parte le quantità di calore sono proporzionali ai pesi delle sostanze, sulle quali producono lo stesso effetto; cioè che farà mestieri cento volte più di calore per riscaldar 100 chilogrammi di ferro da 10 ad 11°, o per sciogliere 100 chilogrammi di ghiaccio, o per evaporare 100 chilogrammi di acqua; sicchè per paragonar tra loro date quantità di calore, ei basta applicarle di mano in mano a riscaldare un corpo nello stesso punto; sciogliere il ghiaccio, o a ridurre l'acqua in vapore; e di paragonare in seguito i pesi di questi corpi, sui quali hanno prodotto i loro effetti.

Una sostanza ha più o meno *capacità pel calore*, secondo che richiede più o meno calore per provare un dato cangiamento di temperatura, un cangiamento per esempio di 1°; e questa quantità di calore dicesi essa medesima *calore specifico* della sostanza. Adunque due corpi avranno eguali capacità, se a peso eguale, essi

richiedono la stessa quantità di calore per riscaldarsi di 1°; al contrario uno avrà una capacità doppia o tripla dell'altro, se richiede due o tre volte calore di più. La correlazione de' calori specifici è manifestamente la stessa che quella delle capacità.

Un medesimo corpo può avere una *variabile capacità*; il che accade per esempio al platino, che assorbe diverse quantità di calore per passare da 0 ad 1°, e per passare da 100 a 101, o da 1,000 a 1,001; la capacità sua è *crescente*, conciossiachè cresca sempre con la temperatura: l'acqua al contrario ha una capacità notabilmente *costante*, che suole sciegliersi per unità.

Da queste definizioni risulta manifestamente che, se un corpo avente un peso m ed una capacità c si riscalda o si raffredda di $t°$; esso guadagna o perde una quantità di calore espressa da $m\,c\,t$; e ne risulta del pari che, se un sistema di corpi aventi delle masse m_1, m_2, ecc. e delle capacità c_1, c_2, ecc. prova in tutte le sue parti una variazione di temperatura t, la risultante delle quantità di calore perdute o guadagnate è $m_1\,c_1\,t + m_2\,c_2\,t + m_3\,c_3\,t +$ ecc.; e se allora s'immagina un corpo del peso $m = m_1 + m_2 +$ ecc, e della capacità $c = \frac{m_1\,c_1 + m_2\,c_2 + \text{ecc.}}{m}$; questa capacità c vien detta la *capacità media* del sistema per il calore.

Generalmente i calori specifici si determinano con tre metodi, che or ora indicheremo, cioè: il metodo del calorimetro, il metodo de'miscugli, ed il metodo del raffreddamento.

498. *Calorimetro di Lavoisier e di Laplace.* — Un taglio di questo istrumento è rappresentato nella figura 360; esso componesi di tre vasi di ferro battuto o di latta c, d ed e, de'quali il più grande c inviluppa il medio d, e questo inviluppa a sua volta il più piccolo. L'intervallo, che separa il primo dal secondo, si riempie di ghiaccio, che colasene fuso per la chiave r, e l'intervallo, che separa da tutte parti il secondo dal terzo è parimente ripieno di diaccio trito, che fuso scorre giù pel robinetto s. In tal modo il calorico esterno è ferma-

to ed assorbito dal primo strato di ghiaccio, e mai non può penetrar nel secondo strato per operarvi una fusione; del pari il calorico interno, quello ch'esce dalla sostanza chiusa pel piccolo vase, è interamente assorbito dal secondo strato di ghiaccio ed impiegato a sciogliere, senza poter mai passare nel primo strato e per più forte ragione senza potersi mai perdere esternamente. Dietro di che niente riesce più agevole ad intendere quanto l'uso di questo istrumento per isciogliere le quistioni relative alla capacità.

Siano m, m' i pesi de'due corpi, c, c' le loro capacità pel calore, t, t' le loro temperature nel punto ch'entrano nel calorimetro, g, g' le quantità di ghiaccio che sciolgono, o le quantità di acqua che si raccolgono in ciascuna esperienza, quando i corpi sono giunti alla temperatura 0. Le quantità di calore, che hanno perduto, sono manifestamente proporzionali alle quantità di ghiaccio g e g' che hanno sciolte: ma il primo perde m, c, t; il secondo m', c', t', dunque si ha:

$$\frac{mct}{m'c't'} = \frac{g}{g'}\text{; dal che } \frac{c}{c'} = \frac{g}{g} \cdot \frac{m't'}{mt}$$

Operando sullo stesso corpo portato a temperature diverse, da questo si scorgerebbe se la capacità è costante o mutabile.

Per sottoporre i liquidi a queste esperienze bisogna chiuderli in una boccetta, ed allora fannosi due esperienze, una con la boccetta vota, l'altra con una boccetta piena di liquido. Nella prima esperienza la quantità di calore perduta è $m\,c\,t$; nell'altra è $m\,c\,t' + m'\,c'\,t'$. E supponendo che si parta da un'altra temperatura t', e che m', c' dinotino la massa e la capacità del liquido, rappresentando sempre con g e g' le quantità di ghiaccio fuse, avrebbesi allora nella prima e seconda esperienza:

$$\frac{mct}{mct' + m'c't'} = \frac{g}{g'};$$

dal che riesce facile di trarre $\frac{c}{c'}$ o la correlazione della capacità della boccetta e del liquido.

Ed è con questo metodo che tutte le capacità possono essere rapportate all'acqua, dappoichè avutasi per esempio una volta la capacità di una boccetta di vetro rispetto all'acqua, si paragonano le capacità delle altre sostanze e quella del vetro, e per paragonar queste capacità con quella dell'acqua ei basta moltiplicarle per la capacità del vetro rispetto all'acqua.

Questi esperimenti, che paiono tanto semplici, purtuttavia non sono senza difficoltà: se si fa uso di neve o di ghiaccio trito minutissimo, l'acqua di fusione s'imbeve ne' frammenti di diaccio; e se precedentemente si saturano di acqua, si raccoglie contemporaneamente l'acqua di fusione e quella di saturazione, la qual non può essere valutata se non imperfettamente. E si ottiene maggior esattezza scegliendo frammenti di diaccio di convenevoli dimensioni.

Si possono anche adoperare de'puzzetti di ghiaccio (*fig. 354*) nel gelo tenacemente addensato.

Quanto alla temperatura de'corpi nel momento che entrano nel calorimetro, si determina immergendoli in un bagno liquido, la cui temperatnra sia nota, e traendoli dal bagno quando ne han preso la temperatura, per portarli rapidamente nell'apparecchio. Se lo strato liquido, che circonda il corpo, avesse un peso alquanto considerevole, se ne terrebbe ragione aggiungendo alla quantità di calore perduta dal corpo quella, che il liquido stesso perde, ch'è uguale al suo peso moltiplicato per la sua temperatura e per la sua capacità, che dovrebb'esser nota.

499. *Metodo de' miscugli.* — In questo metodo il calore perduto da un corpo che si raffredda, è ricevuto da un secondo corpo che si riscalda, e conoscendosi il peso di questi corpi, ei basta osservar le temperature perdute e guadagnate per dedurne la correlazione delle loro capacità. Il corpo che si raffredda è per esempio una massa metallica, avente una capacità c ed una temperatura t prima del miscuglio; il corpo che si riscalda è una massa di acqua m', la cui temperatura è t' prima del miscuglio, e la cui capacità è presa per unità; il vaso

che contiene l'acqua ha un peso a ed una capacità b; il termometro che segna la temperatura del miscuglio ha eziandio una porzione c del suo peso, che partecipa del riscaldamento; sia d la sua capacità; infine dinotiamo con θ la temperatura del miscuglio.

Cadendo il corpo dalla temperatura t alla temperatura θ perde un numero di gradi $t-\theta$ ed una quantità di calore $mc\,(t-\theta)$.

Elevandosi l'acqua da t' a θ guadagna una temperatura $\theta - t'$, ed una quantità di calore $m'\,(\theta - t')$. Per la stessa ragione il vaso ed il termometro, che partecipano del riscaldamento dell'acqua, guadagnano $ab\,(\theta - t')$ e $cd\,(\theta - t')$. Sicchè tutta la quantità di calore guadagnata è:

$$(m' + ab + cd)\,(\theta - t') \text{ ovvero } m_1\,(\theta - t'),$$

facendo $m_1 = m' + ab + cd$; m allora è la *massa di acqua corretta.*

Uguagliando questa quantità di calore ricevuta alla quantità di calore perduta, si ha:

$$mc\,(t - \theta) = m_1\,(\theta - t') \text{ ovvero } c = \frac{m_1}{m}\left(\frac{\theta - t'}{t - \theta}\right)$$

Ecco la disposizione da me adottata per impiegar questo metodo alla determinazione delle capacità del platino fino alla temperatura di 1200°:

a (*fig. 356*) è un vaso di rame sottile allogato su di un zoccolo di legno, dov'è ricevuto da tre turacci di sughero prominenti; *b* è un consimile inviluppo al vaso, che impedisce le correnti di aria e le accidentali variazioni di temperatura; il coperchio *c* del vaso è forato di un pertugio grandissimo, ed ha un paniere di filo di rame, nel quale gettasi il corpo; un agitatore *d* serve a mescolare l'acqua per raffreddare il corpo più prontamente e ridurre la durata dell'esperienza a 30 in 40"; il termometro *e* è posto di lato, la lamina dell'agitatore ha un incavo per non toccarlo; i moti del termometro

si osservano col catetometro, e si possono in tal modo valutare i cinquantesimi di grado. Rendesi necessario avere molti apparecchi di diverse dimensioni, perchè l'elevamento di temperatura non oltrepassi mai 4° in 5°.

Ciò posto mettasi nel vaso dell'acqua, che stia 5 in 6° sotto la temperatura ambiente, e per 8, o 10' se ne osservi il riscaldamento di 2' in 2'; si nota il momento in cui si getta la palla di platino, o generalmente i corpi; e la legge del riscaldamento, che si è osservata, dà la precisa temperatura dell'acqua nel punto dell'immersione. Agitando vivamente l'acqua, bastano 30" perchè il termometro diventi stazionario, e siccome allora trovasi molto prossimo alla temperatura ambiente; ei non evvi generalmente veruna emenda a fare per le quantità di calore guadagnate o perdute esternamente dal vaso durante questi 30": se dovesse esservene alcuna; per farla si osserverebbe la legge del riscaldamento o del raffreddamento, che succede allo stato stazionario del termometro.

Nelle mie esperienze la palla di platino del peso di 178 grammi era contenuta in un doppissimo crogiuolo di platino; la sua temperatura veniva data dal pirometro ad aria, col quale stava a contatto nella muffola di ferro; aprivasi il crogiuolo sull'orlo del vaso delle capacità per gittare nel medesimo attimo la palla nel liquido. Quando la palla era alla temperatura della fusione dell'oro, il suo raffreddamento non durava più di 35 a 40"; ma in questo caso faceva mestieri una massa di acqua molto più considerevole.

500. *Metodo di raffreddamento.* — Dulong e Petit hanno dato a questo metodo un'esattezza che prima non aveva. L'apparecchio loro (*fig. 357*) è composto di un circuito di piombo *a*, dove si fa il voto; il suo coperchio *b* ha un tubo destinato a ricevere il turacciolo di metallo *c*; in questo turacciolo è incollato il termometro di osservazione *d*, l'asta e le divisioni del quale son prominenti, ed il suo serbatoio cilindrico mette capo in un piccol vaso di argento *e*, ch'è sospeso con fili al turaccio, e contiene il corpo sottoposto alla prova. Se questo

corpo è solido, si riduce in polvere, e questa polvere si accumula nel vaso di argento, tutta intorno al serbatoio del termometro; il vaso ne debb' esser ripieno, perchè gli esperimenti siano paragonabili bene. Dopo aver riscaldato fino a 15 o 20 gradi al di sopra della temperatura ambiente il vaso di argento ed il corpo contenutovi, si portano questi nel circuito di piombo, il quale s'immerge anch' esso in un bagno di costante temperatura, si fa il voto e si osserva la velocità del raffreddamento, o piuttosto si osserva il tempo che il termometro impiega per discendere dall'eccesso di 10° all'eccesso di 5° di sopra al bagno. In pari modo si osservano nelle stesse circostanze per tutt'i corpi le durate del raffreddamento da 10° a 5°. Ma qui, essendo i corpi cattivi conduttori, non sono a tutta la massa comuni le temperature indicate dal termometro; ma per la cagion medesima della quasi uguale imperfezione della conducibilità si suppone che la distribuzion del calore sia quasi la stessa, e si ammette per conseguenza che in esperienze sopra due corpi diversi, le quantità di calore perdute per l'abbassamento di 5° han tra loro la stessa corrispondendenza, che se l'abbassamento fosse comune a tutta la massa. Da un altro lato è chiaro che per uguali eccessi di temperatura, uguali quantità di calore scorrono pel vaso di argento nello stesso tempo. Dunque le quantità di calore perdute per lo stesso abbassamento di 10 a 5° sono tra loro, come le durate z e z' del raffreddamento; ma, se m, m', c e c' sono i pesi e le capacità dei due corpi, le lor quantità di calore perdute pe' 5° sono $5mc$ $5m'c'$; sicchè finalmente

$$\frac{m\,c}{m'\,c'} = \frac{z}{z'}.$$

Intanto si vuole osservare che m è qui il peso m della sostanza medesima, la cui capacità è c_1, più il peso a del vaso di argento, la cui capacità è b, più ancora il peso d della porzione immersa dal termometro, la cui capacità è e; la capacità media di questo sistema è c; in modo che si ha:

$mc = m_1 c_1 + ab + de$; ed $m = m_1 + a + d$.

Del pari si ha:

$m' c' = m_2 c_2 + ab + de$; ed $m' = m_2 + a + d$;

il che finalmente dà:

$$\frac{m' c' + ab + de}{m_2 c_2 + ab + de} = \frac{z}{z'};$$

dal che torna agevole il trarre la corrispondenza $\frac{c_1}{c_2}$; quando si conoscono m, m', a, b, d ed e.

Ma particolari cautele farebbero mestieri per paragonare con questo processo un corpo solido ad un corpo liquido, essendo la temperatura in questo secondo caso uniforme, mentre non è nel primo; generalmente l'esattezza de' paragoni è fondata sulla somiglianza della distribuzion del calore ne' corpi sottoposti all'esperienza.

501. *Capacità de' gas pel calore.* — I Sigg. Delaroche e Bérard han fatto su di questo subbietto un lavoro assai bello, che nel 1812 venne coronato dall'Accademia delle Scienze.

Ecco un cenno del processo adoperato da questi fisici esperti.

Due grandi vasi di Mariotte *a* e *d* convenevolmente disposti (*fig. 355*) davano uno scolo di acqua uniforme, che stabiliva uno scolo di aria parimente uniforme: l'aria andava a premere una vescica *b* piena del gas da servire all'esperimento, e lo sforzava ad escir via con una costante velocità per andare a percorrere il serpentino *s* circondato di acqua, che componeva il *calorimetro*; il gas uscendo dal serpentino rientrava in una vescica vota *c*, dond'era scacciato dallo scolo dell'acqua del secondo vaso di Mariotte *d*, per ritornare nella prima vescica *b*, dopo aver attraversato il serpentino novellamente nelle stesse condizioni di temperatura. Questi suc-

cessivi ritorni si potevano tante volte replicare quante faceva mestieri. Il gas prima di entrare nel serpentino percorreva un tubo inviluppato di un altro tubo e pieno di vapor di acqua bollente; immediatamente dopo entrato il serpentino, un termometro f ne segnava la temperatura, ed un altro termometro ne segnava la temperatura appena uscito. Da un'altra parte mercè precedenti esperienze si conosceva il numero de' gradi, che il calorimetro poteva ricevere dalla diretta comunicazione del tubo che conduceva il gas caldo, e facevasi la correzione dipendente da questo eccesso, che non apparteneva al gas medesimo. Da ultimo il calorimetro era in un pezzo separato con un assito dal resto dell'apparecchio, perchè niuna cagione accidentale non potesse operare sul suo riscaldamento o sul suo raffreddamento; un sensibilissimo termometro ad ogn'istante dava la temperatura dell'acqua ond'era pieno; e quindi quella dell'inviluppo, quella del serpentino e quella di tutta la massa componente il calorimetro.

Ciò posto, gli esperimenti erano condotti in tal modo: conoscevasi prossimamente l'eccesso di temperatura, che il calorimetro doveva prendere sulla temperatura ambiente, e veniva portato a questa temperatura, poi facevasi passare la corrente di gas e mantenevasi lunghissimo tempo per esser certo che l'equilibrio era bene stabilito e che la temperatura era perfettamente costante. Ora sia r la temperatura ambiente in una prima esperienza corretta, cioè accresciuta dell'elevazione di temperatura, che il tubo caldo dà al calorimetro; s la temperatura del calorimetro in equilibrio; t la temperatura del gas al suo entrare nel calorimetro; m' la massa di gas che passa in un minuto; e c la sua capacità pel calore. Poichè il gas perde in 1' un numero di gradi $t - s$, esso perde una quantità di calore $m' c (t - s)$. Sia m la massa corretta del calorimetro; cioè il peso dell'acqua, più il peso del rame e del termometro valutati in acqua; essendo presa per unità la sua capacità pel calore, ed il suo eccesso di temperatura sulla temperatura ambiente essendo $s - r$, la quantità di calore, che

esso perde in 1' è $mg\ (s - r)$, essendo g una costante, che si può agevolmente determinare osservando la velocità di raffreddamento del calorimetro abbandonato a sè stesso. Ora essendo necessariamente la quantità di calore perduto uguale alla quantità di calor ricevuto, ei si ha $m' c\ (t - s) = mg\ (s - r)$, dal che si può dedurre la capacità c del gas rispetto all'acqua.

In altr' esperienze altri valori si avranno di t, di r, di s, di g, e di m'; ma una sola esperienza precedente sul raffreddamento del calorimetro darà tutt'i valori di g, de' quali si dovrà fare uso pe' diversi gas o per le diverse circostanze in cui si opera col medesimo gas. Vero è che i Sigg. Delaroche e Bérard non hanno determinato in tal guisa, che la capacità dell'aria rispetto all'acqua, ed in seguito le capacità degli altri gas rispetto all'aria. Ma praticando nel modo qui accennato, meno correzioni si dovrebbero fare e meno calcoli, purchè la serie dell' esperienze sulla velocità di raffreddamento del calorimetro sia stata fatta con molta cura, affinchè non ci abbia incertezza su'valori di g. Conoscendo le capacità de' gas rispetto all'acqua è agevole di paragonarle all'aria, e per avere poi le capacità ad eguali volumi, ei basta moltiplicarle per la correlazione inversa delle densità.

Corrispondenza delle capacità de' gas a pressione costante ed a volume costante.

La capacità, di cui abbiamo fatto parola testè, è la capacità a *pressione costante*, essendosi da noi supposto che i gas liberamente si dilatassero col calore sotto la pressione medesima, rassomigliandoli con ciò ai corpi solidi e liquidi, implicitamente da noi considerati come dilatantisi o contraentisi senza ostacolo, o piuttosto senza cangiamento nelle loro pressioni molecolari interne od esterne.

Ma è anche importantissimo di esaminare le capacità a *volume costante*, cioè le quantità di calore, che acquistano i corpi per cangiar pressione, quando sono impediti dal dilatarsi o dal mutare volume.

Il pensiero di cercare queste capacità per paragonarle alle prime fu del Sig. Delaplace, ed ei può vedersi nella Meccanica Celeste quanto sia stato fecondo nei suoi sviluppi.

Noi qui ci limiteremo ad indicare come la correlazione di queste due capacità può esser determinata dall'esperienza.

Consideriamo una massa di aria m alla temperatura t; supponiamo che se le dia un accrescimento di temperatura t', che determina un aumento di volume δ sotto la medesima pressione: essendo c la capacità sua a pressione costante, la quantità di calore che riceve è $c\,m\,t$. Dilatata una volta, comprimiamola di δ per ricondurla al suo pristino volume: sia t_2 il novello accrescimento di temperatura che riceve dall'effetto di tal compressione; per far ritorno alla sua pristina temperatura t, dovrà perdere i due eccessi di temperatura $t_1 + t_2$; e rappresentando con c' la sua capacità a volume costante, dovrà perdere una quantità di calore $c'\,m\,(t_1 + t_2)$.

Ora ammettendo che questi esperimenti si siano fatti, senza essersi adoperato calore a mutar la temperatura del vaso contenente l'aria, chiaro è che il calor perduto debb'essere precisamente uguale al calor ricevuto $c\,m\,t_2$, il che dà:

$$cmt_2 = c'\,m\,(t_1 + t_2);$$

$$\text{dal che } \frac{c}{c} = 1 + \frac{t_2}{t_2}.$$

Sicchè la capacità a pressione costante è sempre maggiore della capacitá a volume costante, e la lor correlazione è uguale all'unità, più la corrispondenza degli eccessi di temperatura t e t_2; t_1, è l'eccesso di temperatura, che dà un certo aumento di volume δ sotto la pressione medesima; t_2 è l'eccesso di temperatura che risulta da una compressione δ, uguale all'accrescimento di volume dato da t_1 — (*M. Poisson*, *Ann. di Chim.*, t. XXIII, pagina 13).

Dobbiamo aggiungere che t_1, ch'è atto di dare un accrescimento di volume δ, quando la pressione non cangia, manifestamente darebbe un aumento di pressione δ, se il volume non cangiasse; dappoichè, rappresentando con 1 il volume di aria, con t la sua temperatura, con h la sua pressione. il volume corrispondente a $t + t_1$ è:

$$\frac{1 + a(t + t_1)}{1 + at}$$

e l'accrescimento δ è $\frac{at_1}{1 + at}$: or se si comprimesse per ricondurlo al volume 1 e lasciarlo ritornare alla temperatura $t + t_1$, la pressione h', che allora sosterebbe, sarebbe data dalla proporzione:

$$h : h' :: \frac{1 + a(t + t_1)}{1 + at} : 1;$$

$$\text{dal che } \frac{h' - h}{h} = \frac{at_1}{1 + at} = \delta.$$

Ora ecco un modo di esperienza adoperato con altro scopo dai Sigg. Clement e Désormes (*Giornale di Fisica*, 1819), che mena alla corrispondenza delle capacità: si rarefaccia un pò di aria in un gran pallone a (*fig. 361*) in modo che la sua pressione sia p; poi si apra rapidamente la chiave di larga apertura c per lasciar rientrare l'aria, finchè giunga all'esterna pressione p', il che dura quasi un mezzo secondo : chiudasi immediatamente la chiave, e si osservi la pressione definitiva p'', quando l'aria del pallone ha fatto ritorno alla temperatura ambiente, che dee rimanere al tutto immutabile: le pressioni $p - p'$ e $p - p''$ si osservino per mezzo della colonna di acqua d per ottenerle con maggior esattezza; dipoi si trasformano in colonne di mercurio.

La compressione dell'aria in questa esperienza risulta dall'aumento di pressione, ch'è $\frac{p - p'}{p'}$, quando

l'equilibrio di temperatura è ristabilito; e l'aumento t_1 di temperatura, che farebbe mestieri a produr questo aumento di pressione, è dato dalla correlazione:

$$\frac{at_1}{1+at}=\frac{p''-p'}{p'}$$

Da un'altra parte l'eccesso di temperatura t_2, che risulta dalla compressione, è tale che, quando siasi dissipato, la pressione è ricaduta da p a p'', rimanendo il volume notabilmente lo stesso. Sicchè ripigliando il volume 1 sotto la pressione p'' ed alla temperatura t e dandogli l'eccesso di temperatura t_2, riprodurrebbesi la pressione p: ora sotto la pressione p'' questo volume dilatato sarebbe $\frac{1+a(t+t_2)}{1+at}$; e siccome per la pressione p riducesi ad 1, ei si ha:

$$1:\frac{1+a(t+t_2)}{1+at}::p'':p;$$

$$\text{dal che } \frac{at_2}{1+at}=\frac{p-p''}{p''}.$$

Da ultimo questi valori di at_1 e di at_2 danno:

$$\frac{c}{c'}=1+\left(\frac{p-p''}{p''-p'}\right)\frac{p'}{p''}.$$

Le più convenevoli pressioni con un pallone di litri 28, 40, erano:

$$p-p'=13^{mm},8;\ p-p''=3^{mm},6;\ p=766^{mm},5,$$

il che dà:

$$\frac{c}{c'}=1,35.$$

Questo processo può esser considerato soltanto come

quello che dà un approssimamento, conciossiachè vi abbia del calore tolto via dalle pareti del vaso. In tal modo il numero, che ne risulta sostituito nella formola generale della velocità del suono (353) dà un risultamento, che non è del tutto concorde con l'esperienza: perocchè per la velocità del suono nell'aria esso dà alla temperatura 0 soltanto 324^m, 5: mentre Dulong, dopo aver discussi tutti gli esperimenti a lui paruti più esatti, adotta 333^m; il che mena ad 1, 421 pel valore della corrispondenza delle capacità di cui si tratta.

Dulong ha fatto uso di un altro processo differentissimo per determinare questa correlazione in tutt'i gas, almeno quando sono noti per l'aria; nè si può con bastante accuratezza meditare la memoria da lui pubblicata su tal subbietto (*Ann. di Chim. e di Fis.*, t. XLI), e della quale qui non daremo che i principali risultamenti.

Essendo k la correlazione delle capacità per l'aria, e k' per un altro gas, i quadrati delle velocità v e v' del suono nell'aria e nel gas per le temperature t e t' sono ligate (353) dalla formola:

$$\frac{v'^2}{v^2} = \frac{(1 + at')}{(1 + at)} \frac{k'}{k} \cdot \frac{1}{d},$$

essendo d la densità del gas rispetto all'aria.

Da un'altra parte i numeri n ed n' delle vibrazioni compiute nello stesso canale ripieno di aria e di gas, e sottoposti allo stesso modo di vibrazioni, sono ligati (355) alle velocità dalla formola:

$$\frac{n'^2 l'^2}{n^2 l^2} = \frac{v'^2}{v^2};$$

dal che

$$\frac{n'^2 l'^2}{n^2 l^2} = \frac{(1 + at')}{(1 + at)} \cdot \frac{k'}{k} \cdot \frac{1}{d}.$$

Adunque per ottenere k' basta conoscere l, l', t, t', d, k e di osservare il numero delle vibrazioni n' ed n.

Il che Dulong ha fatto con l'ammirabile esattezza, che adorna tutte le sue ricerche. Il canale vibrante era orizzontalmente stabilito in una cassa, dove potevasi fare il voto per poi riempierla del gas, che si volea sottoporre alla prova; da un de'suoi capi il tubo riceveva il vento di un gassometro ripieno dello stesso gas, e dall'altro riceveva uno stantuffo, la cui asta esterna passava in una scatola di stoppa; essendo in tal modo nota la positura dello stantuffo, se ne deduceva la distanza dall'imboccatura, ed il doppio di questa distanza era la lunghezza dell'onda o della concamerazione finale; il gas usciva da una convenevole apertura, e la temperatura era segnata da buoni termometri. Quanto al numero delle vibrazioni esso era osservato direttamente con una sirena, che mantenevasi all'unisono col tubo vibrante per quattro minuti, a fin di evitare gli errori sullo scappar del numeratore e sull'istante che si ferma.

Più in là riferiremo la tavola de' risultamenti.

Sembra nascere dalle formole che questo genere di esperienze dovrebb'essere esattissimo per dare lo stesso valore di k; cioè la corrispondenza delle capacità dell'aria, dappoichè si avrebbe (353 e 355):

$$v^2 = \frac{gh}{d} \cdot k, \text{ e } v^2 = n^2 l^2.$$

Ma Dulong si è assicurato che, se il numero n delle vibrazioni può esser determinato con grande esattezza, ei non è lo stesso di l, cioè della lunghezza dell'onda, o che a determinarla si adoperi un tubo aperto, un tubo chiuso dallo stantuffo, od anche la distanza di due nodi di vibrazione, come aveva indicato il Sig. Poisson (*Memoria dell' Accademia delle Scienze*, 1817). Tutte le velocità, che in tal modo si ottengono, sono picciolissime, paragonandole alla velocità data dalla formola di Newton, adottando 333 per la velocità a 0, siccome indicano tutti gli esperimenti fatti in diversi luoghi, ed adottando per conseguenza 1, 421 pel valore di k. Spiega Dulong questa discordia fra la teorica e

l'osservazione con la curvatura incognita della superficie nodale, che termina le onde, e con l'incertezza che ne risulta sul valore verace di l: per buona ventura i numeri riferiti più sopra pe' diversi gas non vanno soggetti a queste incertezze, mercè le cure postevi da Dulong in ben comprovare che le posizioni delle superficie nodali nello stesso tubo sono identiche perfettamente nei più differenti gas, in modo che il valore di l sparisce, quando si adoperano lo stesso tubo e lo stesso modo di vibrazione per tutt'i gas.

502. *Risultamenti delle principali esperienze sulla capacità, ed osservazioni generiche.* — Le seguenti tavole contengono i principali risultamenti dell'esperienze. A prima vista si osserverà che le capacità delle varie sostanze vanno crescendo con la temperatura (tavola seconda e terza), e che questo aumento è quasi regolare pel platino fino alla temperatura di milledugento gradi: se invece di prendere le capacità medie, si calcola la capacità propria di ogni centinaio di gradi, ei trovasi che a 1200° la capacità del platino è cresciuta di un terzo.

I. *Capacità determinate da Dulong e Petit (Metodo di raffreddamento).*

NOMI DELLE SOSTANZE.	CAPACITÀ, quella dell'acqua presa per unità.	PESO degli atomi, l'atomo d'ossigeno di peso uguale ad 1.	PRODOTTI del peso di ciascun' atomo per la capacità corrispondente
Bismuto. . . .	0,0288	13,30	0,3830
Piombo. . . .	0,0293	12,95	0,3794
Oro.	0,0298	12,43	0,3704
Platino. . . .	0,0314	11,16	0,3740
Stagno. . . .	0,0514	7,35	0,3779
Argento . . .	0,0557	6,75	0,3759
Tellurio . . .	0,0912	4,03	0,3675
Zinco	0,0927	4,03	0,3736
Rame	0,0949	3,957	0,3755
Nickel. . . .	0,1055	3,69	0,3819
Ferro	0,1100	3,392	0,3731
Cobalto. . . .	0,1498	2,46	0,3685
Solfo	0,1880	2,011	0,3780

II. *Capacità determinate da Dulong e Petit (Metodo delle Mescolanze).*

NOMI DELLE SOSTANZE.	CAPACITÀ medie tra 0 e 100°	CAPACITÀ medie tra 0 e 300°
Acqua	1,0000	»
Mercurio	0,0330	0,0350
Platino	0,0335	0,0355
Antimonio	0,0507	0,0547
Argento	0,0557	0,0611
Zinco	0,0927	0,1015
Rame	0,0940	0,1013
Ferro	0,1098	0,1218
Vetro	0,1770	0,1900

III. *Capacità medie del platino (Metodo delle mescolanze): Sig. Pouillet, vedi pagina 131.*

TEMPERATURA	CAPACITÀ MEDIA
100°	0,03350
300	0,03434
500	0,03518
700	0,03602
1000	0,03728
1200	0,03818

IV. *Capacità determinate da vari metodi.*

NOMI DELLE SOSTANZE.	CAPACITÀ.	SPERIMENTATORI.
Arsenico	0,081	Avogrado.
Jodo	0,089	*Id.*
Carbonio.	0,250	*Id.*
Fosforo	0,385	*Id.*
Cloruro di sodio . . .	0,230	Dalton.
Olio d' uliva	0,309	Lavois e Lap.
Acido solforico (dens. 1,84).	0,350	Dalton.
Essenza di tereb. (— 0,87).	0,472	Despretz.
Etere solfor . . (— 0,71).	0,520	*Id.*
Alcool. . . . . (— 0,79).	0,622	*Id.*
Acido nitrico . (— 1,30).	0,660	Dalton.
Legni diversi di 0,500 . a .	0,650	Mayer.

V. *Capacità de' gas determinate da Delaroche e dal Sig. Bérard.*

NOMI DELLE SOSTANZE.	CAPACITÀ ad eguali volumi, essendo quella dell' aria 1.	CAPACITÀ ad eguali masse, essendo quella dell' aria 1.	CAPACITÀ ad eguali masse, essendo quella dell' acqua 1.
Aria atmosferica .	1,0000	1,0000	0,2669
Idrogeno	0,9033	12,3401	3,2936
Ossigeno . . .	0,9765	0,8848	0,2361
Azoto	1,0000	1,0318	0,2734
Ossido di Carbonio	1,0340	1,0805	0,2884
Acido carbonico .	1,2588	0,8280	0,2210
Ossido d' azoto .	1,3503	0,8878	0,2369
Gas oleificante .	1,5530	1,5763	0,4207
Vapore acqueo .	1,9600	3,1360	0,8470

VI. *Corrispondenza delle capacità, a pressione costante ed a volume costante, determinate da Dulong.*

NOMI DEI GAS.	CORRISPONDENZE delle capacità.	CAPACITÀ a pressione costante.
Aria atmosferica. . . .	1,421	1,00
Ossigeno	1,415	1,00
Idrogeno	1,407	1,00
Acido carbonico	1,339	1,17
Ossido di carbonio . . .	1,428	1,00
Ossido d' azoto	1,343	1,16
Gas oleificante.	1,240	1,53

Nella tavola I si osserva la legge fondamentale stabilita da Dulong e Petit, cioè: che la capacità di un corpo semplice moltiplicato pel peso del suo atomo dà un prodotto costante; la qual legge trovasi confermata dalle tavole V e IV su'gas semplici. Si può esprimerla eziandio dicendo che ne' corpi semplici gli atomi hanno ugua-

li capacità pel calore. Se alcuni corpi, come il fosforo, il carbonio, ecc. sembrano cansar questa legge, forse gli è per l'incertezza, che ancora ci ha sul peso verace degli atomi loro. Quanto alla capacità de' corpi composti, esse non sono sommesse alla precedente legge; ma un grandissimo numero di esperienze, nella discussione delle quali non possiamo qui entrare, già sembrano indicare che vi siano del pari semplicissime correlazioni tra le capacità de' composti e quelle de' loro atomi elementari o complessi. Su di che si possono consultare le importantissime memorie del Sig. Avogrado e del Sig. Newmann.

Dulong, dopo aver discusso i risultamenti dell'esperienze su' gas, fu indotto alla seguente legge: 1° volumi eguali di tutt'i fluidi elastici, presi ad una stessa temperatura e sotto una medesima pressione, essendo costretti o dilatati subitamente di una stessa frazione del loro volume, sviluppano o assorbono la stessa quantità assoluta di calore; 2° le variazioni di temperatura che ne risultano sono in ragione inversa del loro calore specifico a volume costante.

Non si è fatto che un picciol numero di esperimenti sulle variazioni di capacità, che i gas provano mercè i cangiamenti di pressione: nondimeno questi esperimenti avrebbero una grande importanza. Il Sig. Poisson ha dato su tal riguardo la seguente formola (*Ann. di Chim.*, t. 23):

$$x = 0,2669 \left(\frac{760}{p}\right) 1 - \frac{1}{k} :$$

x è la capacità corrispondente alla pressione p; k è la corrispondenza delle capacità a pressione ed a volume costante, il cui valore è 1, 421 pe' gas semplici.

§. 2. *Calor latente, calore delle combinazioni e miscugli raffreddanti.*

503. *Calorico di fluidità.* — Già da noi si sono indicate (125) le osservazioni, onde si ravvisa l'assorbimento del *calorico latente* o del *calorico di fluidità*

durante la liquefazione de' corpi. Ora è chiaro che queste quantità di calore possono esser determinate co' mezzi, che ci hanno testè servito a paragonare i calori specifici de' corpi; e fra questi mezzi il calorimetro, ed il metodo de' miscugli saranno i due più semplici.

Ei basta, per esempio, il determinar con precisione il *calorico latente del ghiaccio* di prendere un peso noto di ghiaccio che si scioglie, un chilogrammo, e di mischiarvi con molta prestezza un chilogrammo di acqua a 75°; dopo qualche istanti il ghiaccio è fuso: ed hannosi due chilogrammi di acqua liquida, la cui temperatura è 0 come quella del ghiaccio. Adunque tutta la quantità di calore, che manteneva il chilogrammo di acqua a 75° sopra 0, è stata assorbita dalla fusione del chilogrammo di ghiaccio, ed in tal modo trovasi l'esatta misura del suo calore latente. Quando la temperatura ambiente è più alta di 0, l'acqua calda perde del calor suo nel tempo, che vien versata, ed al contrario il vaso, dove si fa il miscuglio riceve il calorico esterno per tutto il tempo della fusione; nel qual caso si perviene, fatte le necessarie correzioni al precedente risultamento. In tutt'i casi importa che il miscuglio prontamente si faccia, e per questo conviene prendere della neve o del diaccio trito.

La principale difficoltà, che si presenta per le altre sostanze, è la precedente determinazione delle capacità nello stato solido e nello stato liquido, e delle variazioni, che queste capacità provano con la temperatura. Il calorico di fluidità non si conosce che pe' corpi seguenti, e si possono anche nutrire de' dubbi sull' esattezza loro:

1 chilogrammo di spermaceto congelandosi potrebbe sciogliere . . . . . 1 chil., 1 di ghiaccio.

1 chilogrammo di cera. . . . . 1 chil., 3

1 chilogrammo di stagno. . . . . 3 chil., 7

504. *Calorico di elasticità.* — Così noi chiameremo il *calorico latente*, che un liquido evaporandosi assorbe: la sua esistenza ci vien dimostrata dalla stabilità della temperatura durante il bollimento de' liquidi e dal

raffreddamento prodotto durante l'evaporazione loro. Il calorico di elasticità, che appartiene a ciascun vapore si determina generalmente con questo metodo: si fa bollire il liquido ad una temperatura nota t, il suo vapore va a percorrere i giri del serpentino di un calorimetro a (*fig. 362*) analogo a quello de' Sigg. Delaroche e Bérard; quivi si condensa e si cumula nella cassa inferiore b; il tubo dritto c si chiude, quando si opera sotto una pressione minore di quella dell'atmosfera dopo aver fatto il voto nell'apparecchio, e può rimanere aperto, quando si opera sotto la pressione atmosferica. Il peso del liquido vaporizzato si valuta dalla perdita, che ha fatto la storta, e per conferma si può pesare anche il liquido r accumulato nella cassa b. Per non fare emende, che sarebbero incerte, fin dal principio si mette per esempio il calorimetro ad una temperatura di $r°$ sotto la temperatura ambiente θ, e si continua l'esperienza, finchè giunga ad $r°$ al di sopra, con l'attenzione d'impiegar tempi uguali dall'una e dall'altra parte della temperatura ambiente; allora il calorimetro tanto guadagna per l'effetto esterno durante la prima metà dell'esperimento, quanto perde durante la seconda metà.

Sia ora m la massa corretta del calorimetro; siccom'elevasi di $2r°$ esso guadagna dalla parte del vapore una quantità di calore $2\,rm$: sia m' il peso del vapore giunto nel serpentino, c' la capacità del liquido che risulta dal suo condensamento: essendo diffinitivamente alla temperatura $\theta + r$, ed essendosi condensato alla temperatura t, alla quale il vapore entra nel serpentino, si è raffreddato di $t - \theta - r$; e per conseguenza ha dato al calorimetro una quantità di calore $m'\,c'\,(t - \theta - r)$: da un'altra parte nell'atto del condensamento ogni unità della massa m' di vapore ha abbandonato una quantità incognita x di calor latente, o in somma $m'\,x$.

Dunque si ha:

$$m'\,x + m'\,c'\,(t - \theta - r) = 2\,rm;$$

dal che si deduce il valore di x.

Per dare precisione all'esperimento, importa sopra ogni altro di agitar senza posa il liquido del calorimetro per mezzo dell' agitatore ond' esso è provveduto, e di prender tutte le cautele possibili, perchè il vapor non si porti delle goccette liquide, che non dovessero depositare calor latente.

In tal modo si sono rinvenuti questi risultamenti:

Acqua.	550.
Alcool.	207, 7
Etere solforico.	96, 8
Essenza di terebentina.	76, 8;

cioè che un chilogrammo di vapore di questi diversi liquidi condensandosi, senza mutar di temperatura, è atto di elevar di 1° un peso di acqua di 550 chilogrammi, di 207, 7 ecc.

I tre ultimi risultamenti sonosi ottenuti dal Sig. Despretz; egli aveva avuto 531 pel valore aqueo; Rumford dava 567; Dulong 543. Quest' ultimo numero è senz'alcun dubbio il più esatto, e se noi diamo 550; gli è perchè si trova essere il numero generalmente ricevuto nell'uso comune, e perchè non si allontana molto da'risultamenti del Sig. Dulong.

Quando il vapor aqueo si forma in altre temperature, evvi ancora maggior incertezza sul valor vero del suo calore latente: intanto l'esperienze fatte dal Sig. Clement tendono di provare che un chilogrammo di vapore aqueo al *maximum* della forza elastica contiene sempre la stessa quantità di calore; cioè che la somma delle quantità di calore necessarie per riscaldar l' acqua cominciando da 0 a t° e per vaporizzarla a t° rimane costante; quanto a t° il vapore è al *maximum* della forza elastica.

505. *Calore delle combinazioni e calore animale.* — Ogni combinazione chimica sviluppa caldo o freddo. Questa verità generale è stabilita sulla totalità de'fatti, che la chimica ha potuto raccorre, o nella natura inorganica, o nello sviluppo della vegetazione, o nell' au-

mento de'corpi viventi e nella continua rinnovazione della loro sostanza ponderabile. Tutte queste quantità di calore sviluppate o assorbite, ora dall'intima unione degli elementi materiali, or dal loro segregamento, possono esser paragonate e misurate come i calori specifici o i calori latenti.

Noi qui ci contenteremo d'indicare i metodi, onde si determina il calore sviluppato dalla combustione, e quello sviluppato dalla respirazione degli animali.

Per la combustione si fa uso del calorimetro di Rumford (*fig. 363*), che per la sua forma non differisce da quello, che serve a determinare i calori latenti de'vapori; il modo di esperienza è precisamente lo stesso. Nel calorimetro di Rumford il serpentino è orizzontale, perchè i prodotti della combustione non isfuggano troppo presto, e l'entrata *a* del serpentino è munita di una specie d'imbuto, dove si allogano i corpi sottoposti alla combustione. S'è l'olio ovvero l'alcool, facilissimi sono gli esperimenti: si mettono in una piccola lampada, che si pesa nel principio e nella fine dell'esperienza, per sapere il peso del corpo bruciato; la fiamma ed i prodotti della combustione percorrono i giri del serpentino; si trascura il calore che serbano uscendo, o prendesi per calore sviluppato il calore $2\,rm$, essendo m la massa di acqua corretta dal calorimetro, e $2r$ l'elevazione di temperatura, che riceve partendo da r° al di sotto della temperatura ambiente per elevarsi di r° al di sopra.

La seguente tavola contiene i risultamenti ottenuti da Rumford (R) seguendo questo metodo, e quelli che sonosi ottenuti da Lavoisier e Laplace (LL) per mezzo del calorimetro; i tre risultamenti ottenuti dal Sig. Despretz (D) procedono da un metodo consimile a quello di Rumford.

Tavola delle quantità di calore sviluppate dalla combustione di diverse sostanze.

INDICAZIONE DELLE SOSTANZE.	ELEVAZIONE DI TEMPERATURA che 1 gr. di ciascuna sostanza bruciandosi coll'ossigeno comunicherebbe ad 1. gr. d'acqua.	ELEVAZIONE DI TEMPERATURA che 1 gr. d'ossigeno bruciando ciascuna sostanza comunicherebbe ad 1 gr. d'acqua.
Ferro.	» D.	5325
Idrogeno.	23400° LL.	2910
Idem.	» D.	2578
Olio di oliva. . .	11166 LL.	3696
Idem	9044 R.	2993
Cera bianca. . .	10500 LL.	3355
Idem.	9479 R.	3029
Olio di colza depurato	9307 R.	»
Sevo	8369 R.	»
Idem.	7186 LL.	»
Etere solforico. .	8030 R.	3136
Fosforo	7500 LL.	5885
Carbone	7226 LL.	2722
Idem.	» D.	2967
Nafta	7338 R.	»
Alcool a 42° Baumè.	6195 R.	3019
Idem, più acquoso.	5422 R.	»
Idem a 33°. . .	5261 R.	»
Legno secchissimo.	4314 R.	3093

Del calore animale. — Sembra che i corpi organizzati sfuggano alle leggi generali del calore, conciossiachè non istiano quasi mai alla temperatura de' mezzi in cui vivono. Il corpo umano non è affatto alla temperatura dell'aria che lo circonda: gli animali delle regioni polari sono più caldi del ghiaccio in cui stanno; quelli delle regioni equatoriali generalmente più freddi dell'aria bruciante, che respirano; gli uccelli non sono alla temperatura dell'atmosfera, nè i pesci a quella dell'acqua in cui stanno immersi. Adunque ne'corpi organizzati ev-

vi un qualche calor proprio, o piuttosto qualche mezzo di produrre secondo il bisogno caldo o freddo; dappoichè la materia ponderabile, che li compone, dee per necessità, come materia ponderabile, essere sottoposta alle leggi generali dell'equilibrio di temperatura. Questa quistione del calore de' corpi viventi si riduce a tre punti, che noi di mano in mano disamineremo: 1° qual è la temperatura loro? 2° quali sono le quantità di calore che possono produrre in un dato tempo? 3° con quali mezzi queste quantità di calore possono esser prodotte?

Della temperatura del corpo umano. — La temperatura interna sembra esser la stessa ne' varî organi, e la stessa ancora di quella che si ottiene situando un piccol termometro sotto la lingua, e tenendo la bocca esattamente chiusa in tutto il tempo che il termometro prova delle variazioni. Questa temperatura è di 37°: lo stato di salute e di malattia, l'età ed il clima solo lievi differenze vi possono arrecare. Ultimamente i Sigg. Breschet e Becquerel hanno fatto su tal soggetto un gran numero d'importantissimi esperimenti con apparecchi termo-elettrici di una grande sensibilità. Il Sig. Giovanni Davy ha su di ciò fatto notevoli osservazioni nel tempo de' suoi viaggi, e soprattutto in un tragitto da' porti dell'Inghilterra all'isola di Ceylan. Prendendo a diverse latitudini la temperatura di parecchi uomini dell'equipaggio; ha ravvisato che ne' paesi caldi cresce; il quale aumento è nondimen fievolissimo, non oltrepassando 1° circa. Nel tempo stesso il Sig. Giovanni Davy ha preso le temperature sopra diversi indigeni di Ceylan, sopra gli Ottentotti, su' negri del Madagascar e di Mozambica, su gli Albini, su' Malesi, su' Cipai, sopra i sacerdoti di Buda, i quali mangiano soltanto legumi, e sopra i Vaida che mangiano carne solo. Tutte queste temperature sono pochissimo differenti: la più bassa di tutte è 35, 8; ed appartiene a due Ottentotti del capo di Buona-Speranza: la più alta trovasi di 38, 9; ed appartiene a due figliuoli di Europei, nati a Colombo, uno di 8 l'altro di 12 anni.

Il Sig. Giovanni Davy ha osservato eziandio la temperatura di un gran numero di animali, siccome vedesi nella tavola, che segue.

Tavola delle temperature di diversi animali osservate dal Sig. Giovanni Davy.

NOME DELL' ANIMALE.	SUA TEMPERATURA IN GRADI CENTIGRADI.	TEMPERATURA AMBIENTE.	LUOGO DELL' OSSERVAZIONE.
	Mammiferi.		
Scimia	+39°,7	+30°	Colombo.
Pangolino	26, 7	27	*Idem.*
Pipistrello	37, 8	28	*Idem.*
Idem.	38, 3	28	*Idem.*
V. vampiro . . .	37, 8	21	*Idem.*
Scojattolo. . . .	38, 8	27	*Idem.*
Topo comune . .	38, 8	26, 5	*Idem.*
Lepre comuoe . .	37, 8	26, 5	*Idem.*
Icoeumone . . .	39, 4	27	*Idem.*
Tigre	37, 2	26, 5	*Idem.*
Caoe	39, 0	»	Candy.
Idem.	39, 6	»	*Idem.*
Jacal	38, 3	29	Colombo.
Gatto comune . . .	38, 3	15	Londra.
Idem	38, 9	26	Candy.
Pantera	38, 9	27	Colombo.
Cavallo (razza araba).	37, 5	26	Candy.
Mootone	39,3 à 40,0	In està.	Scozia.
Idem	39,5 à 40,0	19	Capo di Buona-Speranza.
Idem	40,0 à 40,5	26	Colombo.
Becco	39, 5	26	*Idem.*
Capra	40, 0	26	*Idem.*
Bue	38, 9	Io està.	Edimburgo.
Idem	38, 9	26	Candy.
Alce femmina . .	39, 4	25, 6	Colombo.
Porco	40, 5	25, 6	Nol Dombera.
Elefaote	37, 5	26, 7	Colombo.
Porco marino . . .	37, 8	23, 7	In mare; latit. 8° 23' N.
	Uccelli.		
Nibbio	37, 2	25, 3	Colombo.
Barbagiaooi . . .	40, 0	15, 6	Londra.
Pappagallo . . .	41, 1	24	Candy.
Gracchia	42, 1	31, 5	Ceylao.
Tordo comune . .	42, 8	15, 5	Londra.
Passero comuoe . .	42, 1	26, 6	Candy.
Colombo comune .	42, 1	15, 5	Loodra.

NOME DELL' ANIMALE.	SUA TEMPERATURA IN GRADI CENTIGRADI.	TEMPERATURA AMBIENTE.	LUOGO DELL' OSSERVAZIONE.
Idem	43, 0	25, 5	Colombo.
Idem	43, 3	25, 5	*Idem*.
Gallina di Jungles .	42, 0	25, 5	Ceylan.
Idem.	42, 5	25, 5	*Idem*.
Gallina comune . .	42, 5	4, 5	Edimburgo.
Idem	43, 3	25, 5	Colombo.
Idem	42, 2	25, 5	*Idem*.
Gallo vecchio. . .	43, 3	25, 5	*Idem*.
Gallo adulto . . .	43, 9	25, 5	*Idem*.
Gallina di Guinea .	43, 9	25, 5	Vicino Colombo.
Gallo d' India. . .	42, 7	25, 5	*Idem*.
Procellaria . . .	40, 3	26	In mare; latit. 2° 3' N.
P. Capensis (ossia procellaria del capo) .	40, 8	15	*Idem*; latitudine 34° S.
Oca comune . . .	41, 7	25, 5	Vicino Colombo.
Anitra comune . .	43, 9	25, 5	*Idem*.
	Anfibi.		
Tartaruga	28°,9	26°	In mare; latit. 2° 27' N.
Idem	29, 4	32	Colombo.
Tartaruga Geometrica	16, 9	16	Capo di Buona-Speranza.
Idem	30, 5	26, 6	Colombo.
Rana Ventricosa . .	25, 0	26, 7	Candy.
Iguana	29, 0	27, 8	Colombo.
Serpente	31, 4	27, 5	*Idem*.
Idem	29, 2	28, 1	*Idem*.
Idem	32, 2	28, 3	*Idem*.
	Pesci		
Pesce cane . . .	25, 0	23, 7	In mare; latit. 8° 23' N.
Bonita, nel cuore. .	27, 8	27, 2	*Idem*; latit. 1° 14' S.
Idem, ne' muscoli inter.	37, 2	27, 2	*Idem*.
Trotta comune . .	14, 4	13, 3	Vicino Edimburgo.
Pesce volante . . .	25, 5	25, 3	In mare; latit. 6° 57' N.
	Molluschi.		
Ostrica comune . .	27, 8	27, 8	Vicino Colombo.
Lumaca.	24, 6	»	Candy.
	Crustacei.		
Gambero	26, 1	26, 7	Colombo.
Granchio di mare .	22, 2	22, 2	Dintorni di Candy.
	Insetti.		
Scarafaggio . . .	25, 0	24, 5	Candy.
Lucciola	23, 3	22, 8	*Idem*.
Blatta orientalis . .	23, 9	28, 3	*Idem*.
Idem	23, 9	23, 3	*Idem*.
Grillo	22, 5	16, 7	Capo di Buona-Speranza.
Vespa	24, 4	23, 9	Candy.
Scorpione	25, 3	26, 1	*Idem*.
Julus	25, 8	26. 6	*Idem*.

Osservazioni. Per gli *anfibi* il numero che trovasi nella colonna della *temperatura ambiente* è la temperatura dell'aria; pe' pesci, l'ostrica comune ed il granchio, è la temperatura del mare.

Si vede che fra tutti gli animali gli uccelli hanno la temperatura più alta; i mammiferi occupano il secondo posto; appresso vengono gli anfibi, i pesci e certi insetti; l'ultima classe comprende i molluschi e i crustacei, che sono sensibilmente alla temperatura ambiente, del pari che i vermi su' quali si sono fatti esperimenti finora.

La bonita offre un notabile esempio: essendo il mare a 27, 2, la sua temperatura si è trovata di 27, 8 nel cuore, e di 37, 2 ne'muscoli interni; il cuore è vicinissimo alla superficie.

506. *Quantità di calore prodotte da diversi animali.* — Queste quantità di calore possono esser determinate dal calorimetro, ed i Sigg. Lavoisier e Laplace non avevano trascurato di applicar l'istrumento loro a questo genere di ricerche. Dulong ha usato un altro mezzo, ch'è senza dubbio il più preciso ed ingegnoso di quanti se ne possano immaginare: il suo bel lavoro su tal subbietto non è pubblicato ancora, e qui sol una generale immagine noi possiamo dare del suo apparecchio e de' suoi risultamenti. L'animale, che si sottomette alla prova, è chiuso con tutto agio in una cassa di rame sottile, che viene immersa in una gran massa di acqua; l'aria opportuna alla respirazione gli è porta da un gassometro; i prodotti della respirazione vengono fuori, ed escono alla temperatura della massa di acqua; sono raccolti ed analizzati. L'esperienza dura circa due ore, e dopo fatte tutte le correzioni, dall'elevazione della temperatura dell'acqua si giudica la quantità di calore fornita dall'animale in esperimento. Dulong ha determinato queste quantità di calore con grande precisione sopra individui di varie specie, giovani o adulti, carnivori o frugivori. Non soffrendo questi animali nè travaglio nè fatica, s'intende bene che, s'essi perdono ad ognistante calore, bisogna che ad ogn'istante ne riproducano in ugual quantità, ed or ora noi vedremo con quali mezzi.

Cagioni principali del calore degli animali. — L'aria, ch'è servita alla respirazione, è alterata, siccome l'aria ch'è servita alla combustione. L'ossigeno si è combinato in parte col carbonio per formare acido carbonico; dunque ne' polmoni succede una combustione verace. Non appena il Lavoisier ebbe fatta questa scoperta, il calore animale non fu più un mistero: se ne vide l'origine nel fenomeno della respirazione. Intanto deesi misurare questa sorgente e vedere se da sè sola compensa esattamente le perdite; questo ha fatto Dulong. Dopo aver determinato, come vedemmo testè, la quantità di calore perduta da un animale in un dato tempo, egli ha investigata la quantità di calore prodotta dalla respirazione. L'aria fornita all'animale è misurata dal gassometro, le alterazioni che prova sono dall'analisi date. Ecco quali sono: 1° esce fuori più umida; 2° una parte dell'ossigeno è sostituita dall'acido carbonico; 3° un'altra porzione dell'ossigeno sparisce; 4° l'azoto prova solo deboli variazioni. Ammettendo che l'ossigeno, il qual'è passato allo stato di acido carbonico, siasi realmente combinato durante l'inspirazione col carbonio, ovvero dopo essere stato assorbito, si può calcolare la quantità di calore che ne risulta. Ammettendo dipoi che la quantità di ossigeno scomparsa siasi combinata con l'idrogeno per formar l'acqua, si può calcolar parimente la quantità di calore che ne risulta. Certamente la somma di queste due quantità di calore rappresenta tutto il calore, che la respirazion può produrre; or questa somma in certi casi rappresenta i $\frac{8}{10}$ del calore perduto dall'animale, ed in altri gli $\frac{5}{10}$ solo. Questo è il notevole risultamento, al qual venne indotto Dulong. Adunque pare che oltre della respirazione vi abbia negli animali un'altra sorgente di calore. E rimane a sapere se la si trova nelle diverse secrezioni, che ad ogn'istante si fanno, o se sia più nascosta e sol dipendente dall'azione più o meno energica del sistema nervoso.

507. *Miscugli raffreddanti.* — Già da noi si è indicata la cagione generale del freddo, che si produce ne' miscugli raffreddanti. Se nel tempo, ch'evvi in que-

sti miscugli fusione, non ci fosse pure azione chimica, che sviluppa calore; si comprende che basterebbe conoscere le capacità degli elementi, e le quantità di calor latente per calcolare precedentemente il grado di freddo, che può ottenersi con dati elementi: ma la quistione è troppo intrigata, perchè siane ora possibile il disaminarla; epperò noi ci limiteremo dunque a qui riferire i mezzi pratici di fare i più comuni miscugli raffreddanti.

Tavola de' miscugli raffreddanti.

MESCOLANZE DI NEVE E DI SALE, O DI ACIDO ALLUNGATO O D'ALCALI		ABBASSAMENTO DEL TERMOMETRO.
Neve	1	da 0° a—17,77
Sal marino	1	
Idroclorato di calce	3	da— 0 a—27,77
Neve	2	
Potassa	4	da 0 a—28,33
Neve	3	
Neve	1	da— 6,66 a—51
Acido solforico allungato	1	
Neve o ghiaccio pesto	2	da—17,77 a—20,55
Sal marino	1	
Neve ed acido nitrico allungato	1	da—17,77 a—43,33
Idroclorato di calce	2	da—17,77 a—54,44
Neve	1	
Neve o ghiaccio pesto	1	da—20,55 a—27,77
Sal marino	5	
Idroclarato d'ammoniaca, e nitrato di potassa	5	
Neve	2	da—23,33 a—48,88
Acido solforico allungato	1	
Acido nitrico allungato	1	
Neve o ghiaccio pesto	12	da—27,77 a—31,66
Sal marino	5	
Nitrato d'ammoniaca	5	
Idroclorato di calce	3	da—40 a—58,33
Neve	1	
Acido solforico allungato	10	da—55,55 a—68,33
Neve	8	

§. 3. *Osservazioni generali sopra le sorgenti di caldo e di freddo.*

Le sole sorgenti di calore a noi cognite sono quelle, che procedono dalle azioni elettriche, dalle azioni molecolari e dalle meccaniche. Alcuni fisiologi per verità suppongono che vi abbiano eziandio delle forze organiche, diverse dalle forze chimiche, che sono atte di sviluppare calore, ma gli effetti calorifici di queste forze non sono finora comprovati da sperienze molto certe. (6)

L'incandescenza del carbone tra le pose della pila, la fusione, la volatilità de' metalli, o in virtù delle correnti, o per le scariche delle ordinarie batterie, abbastanza dimostrano la potenza calorifica dell'elettricità; già con diversi esperimenti si è tentato di determinare le quantità di calore, che possono sviluppare correnti di una determinata intensità: intanto tal quistione non è ancor punto risoluta; da troppo breve tempo si san misurare le intensità relative delle correnti con bastante esattezza.

Le azioni molecolari, considerate come sorgenti di calore, non comprendono soltanto le azioni chimiche nella loro totalità ed in tutt'i loro particolari, ma eziandio le forze espansive de'fluidi elastici, che determinano la formazion de' vapori, o l'aumento del volume de'gas, quando la pressione diminuisce; le azioni capillari ed anche quelle poco note, che indubitatamente si producono col contatto de' corpi, qualunque ne sia lo stato. Senza dubbio a queste particolari azioni si vogliono attribuire gli sviluppi di calore, che ho confermato altre fiate nel contatto de' solidi e de' liquidi, e che qualche volta son tali, che l'elevazione di temperatura è di 8 ovvero 10 gradi, quando si bagna un solido con un liquido, che ha esattissimamente la temperatura di esso. È probabilmente a queste azioni ancora deesi attribuire l'*ignizione spontanea* scoperta da Doebereiner, e che si manifesta, allorchè una spugna di platino si trova in contatto con un miscuglio d'idrogeno e di ossigeno, ed an-

che, siccome han dimostrato Dulong ed il Sig. Thènard, in alcuni metalli presentati a certi miscugli gassosi, in un conveniente stato di combustione e sotto date condizioni: l'elevamento di temperatura non giunge sempre all'ignizione, ma basta che si produca, perchè sia lecito ammettere che in ciò esiste una cagione simile a quella, che opera nel contatto del platino separato, e del miscuglio d'idrogeno e di ossigeno.

Ancora oltremodo svariate e moltiplicate sono le azioni meccaniche, considerandole come sorgenti di calore, ma gli effetti loro son sempre analoghi. Intanto, quando si vogliono valutare e paragonare le intensità loro, bisogna tener ragione delle azioni chimiche, che qualche volta tengono dietro alle meccaniche: così, quando si accende l'esca nello schioppo pneumatico, il legno per stropicciamento, all'azione meccanica non si deve attribuire altro, che l'elevazione di temperatura necessaria a determinare l'azione chimica, e non già l'elevazione di temperatura, che risulta dalla stessa azione chimica. Potrebbe anche intervenire in fenomeni di tal fatta che l'azione meccanica favorisse la combinazione degli elementi diversamente, che con l'elevazione di temperatura, o con la disposizione particolare che dà alle molecole, o con altre cagioni: ed è probabile che la detonazione delle polveri fulminanti con la frizione o con l'urto sia un effetto composto, e che il calor prodotto dall'azione meccanica non sia la sola forza, che determina l'esplosione.

Quando le azioni meccaniche operano sole, siccome ciò, per esempio, accade per lo stropicciamento dei corpi non ossidabili, per la compressione dell'aria in vasi, dove non ci siano elementi combustibili, per la compression de' metalli sotto l'azione del torchio ecc.; facil cosa diventa il determinare le quantità di calore che si sviluppano; ma tutte queste quistioni non sono state ancora studiate con la perseveranza e grado di precisione, di cui sono degne.

LIBRO OTTAVO.

METEOROLOGIA.

CAPITOLO PRIMO.

Del calore terrestre.

508. Esercitando i differenti gradi di caldo o di freddo un' influenza più o meno diretta sulla maggior parte de'fenomeni meteorologici, prima di ogni altro noi ci faremo a disaminare la quistione generica della distribuzion del calore nel seno della terra e dell' atmosfera. Per compiutamente risolvere tal quistione, non bisognerebbero soltanto fuggevoli osservazioni, fatte su di alcuni punti isolati del globo, ma osservazioni di secoli fatte con buoni strumenti in tutt' i climi diversi. Ora noi siamo ben lungi dal possedere questi essenziali elementi. La maggior parte delle antiche osservazioni erano fatte come per caso e con poca precisione; ed in realtà la meteorologia del calore ha solo data dal principio del nostro secolo; allora fu che gl' immensi travagli del Sig. de Humboldt e le profonde ricerche teoriche di Fourier e di De Laplace concorsero potentemente in darle il suo slancio e la sua direzione verace: le buone osservazioni sedentarie si sono moltiplicate, numerosi viaggi scientifici si sono fatti nelle alte montagne, su tutt' i mari ed in paesi fino allora sconosciuti alla scienza. I risultamenti raccolti nel breve spazio di questi ultimi quarant' anni già formano un'immensa totalità, e se non sono ancora perfetti pel loro numero e per la durata che abbracciano; si può dire con verità che menano a molte grandi quistioni sullo stato termometrico del globo, che fin

da ora possono essere trattate, e discusse con dati precisi.

Questo capitolo all'esame di esse vien dedicato.

Temperatura dell' aria nella superficie del suolo. — Nell'Osservatorio di Parigi le temperature dell'aria sono osservate col seguente apparecchio (*fig. 364*): *bb'* è una specie di tamburo composto di due forti cerchi di legno, congiunti fra loro con traverse *rr'*; questo tamburo può girar su di un asse di ferro *aa'* conficcato nel muro. Il termometro è rappresentato in *tt'*: la sua scala, ch'è di vetro, trovasi acconciata in una delle traverse *rr'*; ordinariamente esso è esposto verso l' esterno; ma, quando si vuol fare un'osservazione, si fa girare il tamburo per condurre le divisioni dinanzi all' occhio dell'osservatore.

Questo apparecchio viene esposto direttamente al nord, nè per conseguenza riceve il sole, se non per alcune ore il mattino e la sera, dall' equinozio di primavera insino a quello di autunno; ma lo si gira per metterlo all'ombra; da un'altra parte è ricoverato dalla pioggia mercè un picciolo tetto conico di metallo.

Si dice *temperatura media* di un giorno quella, che si otterrebbe aggiungendo fra loro le osservazioni fatte in tutti gl'istanti della giornata, e dividendo questa somma pel numero degl'istanti; ma, siccome i cangiamenti mai non sono nè improvvisi nè irregolari molto, si vede bene che possono le osservazioni fatte per esempio di ora in ora essere sostituite a quelle di ogn'istante, durante le 24 ore; e l'esperienza ha di vantaggio mostrato che, invece di osservare di ora in ora possono venire adottati questi due metodi: 1° prender la media di tre osservazioni, la prima fatta al levarsi del sole, la seconda due ore dopo mezzodì, la terza al tramonto; 2° prender la media delle due temperature *maximum* e *minimum* della giornata. Questo secondo metodo è quello adottato nell' Osservatorio di Parigi.

La *temperatura media di un mese* è la somma delle temperature medie di tutt'i giorni del mese, divisa pel numero di questi dì.

La *temperatura media dell' anno* è la somma del-

le temperature medie de' dodici mesi divisa per 12. Ma egl' importa osservare che si giunge allo stesso risultamento, o quasi, con altri due metodi: 1° prendendo unicamente la media del solo mese di ottobre; 2° prendendo la media delle temperature corrispondenti ad un'ora sola della giornata; che per la nostra latitudine sarebbe quella delle 9 ore del mattino.

Da ultimo la media temperatura dell' anno non si ricerca se non per giungere alla *temperatura media del luogo*; questa è la *media di tutte le medie annali*. Moltissimi anni di osservazione bisognano ad ottenere un risultamento, che alquanto si approssimi alla verità, ed anche questa verità esiste solo sotto una condizione: essa suppone che i cangiamenti di temperatura, cui si trova soggetto un sito, siano cangiamenti che si compiano per oscillazione e non per progressione. Se un clima potesse esser di un modo indefinito progressivamente caldo o progressivamente freddo, non bisognerebbe cercare la sua temperatura media incessantemente mutabile: ma sì la legge della progressione crescente o decrescente di siffatta temperatura; la sarebbe fuor di dubbio irregolare, ma esisterebbe: ogni durevol fenomeno è sottoposto ad una legge. Le osservazioni tentano di dimostrare che tutt' i climi della terra sono stabili, e che le vicissitudini loro sono dovute soltanto a periodi, od oscillazioni più o meno estese. Adunque esiste una temperatura media propria di ciascun luogo, e questo è un dato fondamentale, che dobbiamo stabilire. Ne' climi, in cui le osservazioni di molti anni successivi danno medie differentissime, bisogna un numero molto grande di anni per ottenere una temperatura media, che si approssimi alla verità. Per esempio, se accade che la maggior differenza tra le medie di venti anni consecutivi giunga a 5°, si potrà probabilmente supporre che cento anni di osservazione daranno una media, la qual sarà eziandio errata di $\frac{5}{100}$ di grado o di $\frac{1}{20}$ di grado. Al contrario, se la maggior differenza tra queste medie giunge ad 1°, si potrà supporre che cento anni di osservazione daranno una media, il cui errore non sorpasserà $\frac{1}{100}$ di grado.

Per esempio a Parigi la media degli ultimi trent'anni è di 10° 80, e la differenza tra la maggiore e la minore di queste medie non giunge del tutto a 3°; sicchè la media vera di Parigi è ora cognita a meno di $\frac{1}{10}$ di grado quasi. Sventuratamente ancora ristrettissimo è il numero de' punti, pe'quali si hanno con tal guisa delle medie abbastanza prossime. Nondimeno il Sig. Humboldt ha tentato di discutere la totalità de' risultamenti noti, e noi qui non trascuriamo di dare un'idea del lavoro da lui pubblicato su tal subbietto (*Memoria della Società d'Arceuil*, t. 3).

Linee isoterme. — Sopra un medesimo meridiano la temperatura media diminuisce andando dall'equatore verso i poli, e su di una verticale medesima la temperatura diminuisce con l'elevazione assoluta. Sicchè la latitudine e l'altezza al di sopra del livello del mare sono le due cagioni generali, che determinano la temperatura media di un punto della terra; ma l'influenza di siffatte cagioni è modificata da un gran numero d'influenze accidentali o locali: la distanza dal mare, la vicinanza delle montagne, la natura del suolo, la sua coltura ed inclinazione, la direzione de' venti e tutt' i fenomeni atmosferici sono altrettante cagioni secondarie, ora costanti or mutabili, che incessantemente modificano le due cagioni generali. Dal che ben s'intende che addiventa malagevolissimo di mettere ordine in siffatta confusione, e di sottoporre ad una legge comune fenomeni tanto svariati.

Intanto ecco alcune definizioni, che ci serviranno ad accostare i risultamenti tra loro ed a comprenderli con un solo pensiero.

Poniamo, per esempio, che un viaggiatore faccia il giro del mondo partendosi da Parigi, e passi per tutt'i punti dell'emisfero boreale, ne' quali la temperatura media è al pari di Parigi di 10° 8; il cammino da lui percorso formerà d'intorno alla terra una curva di *uguale calore*; il che dicesi una *linea isoterma*. Adunque una *linea isoterma* è quella che passa per tutt' i punti della superficie terrestre, ne' quali la temperatura media è la stessa. La linea isoterma di 10° 8 è lungi

dal coincidere con la *parallela* di Parigi; essa è irregolare e tortuosa, passa cioè per punti, la cui latitudine è diversissima da quella di Parigi. Del pari la linea isoterma può concepirsi corrispondente ad un' altra temperatura media qualunque: la potrà essere tortuosa come quella di Parigi, ma secondo altre leggi sue proprie. Lo spazio compreso fra due linee isoterme gli è ciò che si dice *striscia isoterma* o *zona isoterma*. Sicchè la zona isoterma da 10° a 5° è quella compresa tra le linee isoterme di 10° e di 5°.

Noi qui ci ristrigneremo a dividere in sei zone isoterme l'emisfero boreale, cioè:

1° La zona di 30° a 23° 5, è la zona torrida,
2°. . . . . di 23 5 a 20
3°. . . . . di 20 a 15
4°. . . . . di 15 a 10
5°. . . . . di 10 a 5
6°. . . . . di 5 a 0,

ed indicheremo solo le tortuosità generali di queste diverse zone.

Zona torrida. — La totalità delle osservazioni dinota che sotto l' equatore la temperatura media è compresa tra 27°, 5 e 28°. Nondimeno questa media è modificata dalla grand'estensione de' mari equatoriali; sotto la linea, le terre ferme non occupano che il sesto della circonferenza terrestre. Sicchè approssimandosi a' tropici ed in ispezialtà al tropico del cancro, non ci dobbiamo stupire, che si trovino delle temperature medie, che oltrepassino sensibilmente quella dell'equatore: per Pondichery a cagion di esempio la media è di 29°, 6.

Intanto le linee isoterme di 23°, 5 sono pochissimo tortuose; tutto sembra indicare che solo facciano piccolissime escursioni dall' una e dall' altra parte de' tropici.

Zona da 23°, 5 *a* 20°. — Questa zona abbraccia latitudini diversissime: Algieri, che trovasi quasi sotto il meridiano di Parigi, è uno de' punti che più s'inoltrano verso il nord, e già si ravvisa nelle linee iso-

terme prossime *a* 20° una tendenza ad esser convesse verso il polo ne' loro punti corrispondenti al centro dell'Europa.

Zona da 20° *a* 15°. — Questa zona passa per le coste della Francia su tutto il littorale del Mediterraneo per una latitudine media di 43°, e poi si abbassa o all'est verso Nangasacki e le coste del Giappone, o all' ovest verso Natchez, sulle rive del Mississipi presso il golfo del Messico.

Zona da 15° *a* 10°. — Se anche in questa zona si comprendono quelle città della Francia, la cui temperatura media è di 12 a 13° si vedrà che le latitudini loro sono più grandi di quelle de' punti della temperatura medesima, o all' est come Pechino, o all'ovest come Cincinnati, Nuova-York e Filadelfia. In tal modo nella zona temperata, a latitudine eguale, il clima di Europa è più caldo de' climi dell' Asia e dell'America.

Zona da 10° *a* 5°. — Paragonando le temperature medie di Fayetteville e di Copenaghen, quelle di Quebec e di Stocolma, quelle di Kendal e di Berlino, sempreppiù si farà manifesta la differenza, che havvi tra il clima del meridiano di Parigi, e quelli che sono all' est ed all'ovest di questo meridiano.

Zona da 5° *a* 0°. — Rincresce assai che in questa zona non si posseggano alcune serie di osservazioni nella Siberia e nel Nord dell'America. Le quali tanto più sarebbero importanti, poichè permetterebbero di disegnare con qualche precisione i limiti, dove la vegetazione si estingue. Intanto ei pare che questa fascia comprenda le latitudini da 60 a 70°.

Regioni polari. — Le diverse spedizioni fatte verso il polo boreale in questi ultimi anni, hanno fornito un gran numero di preziose osservazioni, dalle quali sembra risultare che la temperatura dello stesso polo sarebbe compresa tra 25 e 30° sotto zero.

Temperature medie de' giorni, de' mesi e delle stagioni, temperature estreme e climi. — I climi, in ciò che dal calore dipende, sono contraddistinti e dalla temperatura media dell' anno e dalle variazioni, che

può provare la temperatura de' giorni, de' mesi e delle stagioni. Il clima si può dir ch'è *ardente* nella zona torrida; *caldo* nella zona da 23°, 5 a 20°; *dolce* nella zona da 20 a 15°; *temperato* nella zona da 15 a 10°; *freddo* nella zona da 10 a 5°; *freddissimo* in quella da 5° a 0; e *gelato* nella zona la cui temperatura media è al di sotto di 0. Ma i climi appartenenti alla stessa zona od alla stessa linea isoterma si debbono distinguer tra loro; e noi proporremo di chiamare: *climi costanti* quelli, che nello spazio dell'anno non offrono grandi differenze fra gli estremi del calore e del freddo; *climi variabili* quelli, che ne offrono molto grandi; e secondo Buffon ed il Sig. Humboldt chiameremo *climi eccessivi* quelli, che offrono differenze grandissime. La seguente tavola darà un esempio di tal distinzione.

Nomi de' luoghi.	Temperatura media dell' anno.	Temperatura media del mese più caldo.	Temperatura media del mese più freddo.	Differenze.
Fonsalla	20, 3. . .	24, 2. . .	17, 2.	6, 4
San-Malò . . .	12, 3. . .	19, 4. . .	5, 4.	14, 0
Parigi	10, 6. . .	18, 5. . .	2, 3.	16, 2
Londra.	10, 2. . .	18, 0. . .	3, 2.	15, 8
Nuova-York. . .	12, 1. . .	27, 1. . .	— 3, 7.	30, 8
Pechino	12, 7. . .	29, 1. . .	— 4, 1.	33, 2

Fonsalla ha un clima costante, carattere ch'è quasi sempre del clima delle isole.

San-Malò, Londra e Parigi offrono un esempio di climi variabili, mentre Nuova-York e Pechino hanno manifestamente climi eccessivi.

Ei basta por mente un istante alla prodigiosa influenza, che il caldo ed il freddo esercitano su tutti gli esseri organici per concepire, che, a temperatura media eguale, le produzioni non possono esser le stesse ne' climi eccessivi ed in quelli costanti o mutabili.

Ma non con queste tronche distinzioni soltanto i climi possono essere contraddistinti: se bastano alcuni gradi di freddo di più a far morire le piante, ed alcuni gradi di cal-

do di più a far maturare le frutta, chiaro è parimente che l'epoca e la durata de' grandi caldi e de' grandi freddi sono elementi indispensabili alla conoscenza de' climi. Sicchè gli osservatori non deggiono pensare solo a determinar le temperature medie dell' anno e quelle de' mesi più caldi e più freddi, ma debbono giungere finalmente a determinare la distribuzion del calore in tutto il corso dell'anno, ed a questo si rendono necessarie le giornaliere osservazioni. Le quali fatte una volta, non rimane che combinarle con buoni metodi per giungere alle temperature medie de' giorni, de' mesi e delle stagioni.

E noi non finiremo questo articolo senza riferire eziandio, secondo il Sig. Arago, gli estremi di caldo e freddo che sono stati osservati nell'Osservatorio di Parigi. (*Almanacco dell' Uffizio delle Longitudini*, 1825).

Maximum del caldo.			*Maximum del freddo.*		
anni.	mesi.	temperat. gradi centig.	anni.	mesi.	temperat.
1706	8 agosto	+35.3	1709	13 gennaio	—23.1
1753	7 luglio	+35.6	1716	13 gennaio	—18.7
1754	14 luglio	+35.0	1754	8 gennaio	—14.1
1755	14 luglio	+34.7	1755	8 gennaio	—15.6
1793	8 luglio	+38.4	1768	8 gennaio	—17.1
1793	16 luglio	+37.3	1776	29 gennaio	—19.1
1800	18 agosto	+35.5	1783	30 decembre	—19.1
1802	8 agosto	+36.4	1788	31 decembre	—22.3
1803	8 agosto	+36.7	1795	25 gennaio	—23.5
1808	15 luglio	+36.2	1798	26 decembre	—17.6
1818	24 luglio	+34.5	1823	14 gennaio	—14.5

Sembra eziandio che le più alte temperature dell'aria, osservate sotto la zona torrida, si siano elevate da 40 a 50°, e che Lyon e Ritchie abbiano anche osservato una temperatura di 54° all'oasi di Mourzouck.

Dall'altra parte il capitano Parry ha qualche volta osservato nelle regioni polari delle temperature da 40 a 50 gradi sotto 0, il che dà 100 gradi pel limite delle variazioni estreme di temperatura che l'aria possa provare sulla superficie della terra.

Temperature a diverse altezze al di sopra del suolo. — Ognuno sa che la temperatura decresce, siccome uom s'innalza nell'atmosfera: evidentissima prova se ne ha nell'eterne nevi che coprono gli alti monti, come le Alpi ed i Pirenei ne' climi nostri temperati, il Chimborazo ed i vulcani di Cotopaxi e di Antisana sotto la zona torrida, quasi immediatamente sotto la linea equinoziale. Molte osservazioni sonosi fatte per determinar la legge di questo decrescimento, ma sembra ch'essa sia diversa per le diverse latitudini. Così nelle regioni polari ad Ingloolick, latitudine 69° 21', il capitano Parry ha innalzato un cervo volante a circa 130 metri di altezza con un termometro *a minima*, ed in quest'alta regione la temperatura era di 31° al di sotto di 0, come su' ghiacci del mare.

Sotto l'equatore il Sig. Humboldt ha fatto un gran numero di osservazioni, i cui risultamenti generali vengono espressi dalla seguente tavola:

Altezza.	Temper. media.	Differenza.
0 metri.	27. 5	
1000 —	21. 8.	5. 7
2000 —	18. 4.	3. 4
3000 —	14. 3.	4. 1
4000 —	7.	7. 3
5000 —	1. 5.	5. 5

Sicchè in queste regioni, su'dorsi di questi monti non meno prodigiosi per la lor doppiezza che per l'elevazione loro, il decrescimento della temperatura non è uniforme; e vedesi ch'è il più picciolo possibile fra 1000 e 3000 metri. Questo strato dell'atmosfera è, sotto l'equatore, la regione abitual delle nubi; quivi è dove i vapori più o meno addensati assorbono in maggior proporzione il calore solare, nè dee far meraviglia che questa regione sia di fatto men raffreddata di quelle appartenenti ad un aere più puro e più trasparente.

Le osservazioni fatte ne' climi nostri danno anche numeri diversissimi. Il Sig. Gay—Lussac nella sua ascensione areostatica per un grado di abbassamento ha trova-

to 174 metri di elevazione. Nelle Alpi se ne trovano 140 a 150 metri, e da 238 a 125 ne'Pirenei. Si può ammetter per media circa 200 metri nelle regioni equatoriali, e nelle latitudini nostre circa 170 a 180^{m}.

509. *Limite delle nevi perpetue.* — Ora ci rimane ad esaminare quali siano ne' vari climi le altezze, cui bisogna elevarsi per rinvenire su' dorsi de' monti questo limite di separazione tra le vette sempre nevose e le terre, che ricevono i raggi del sole almeno per lo spazio di alcune settimane, e che possono produrre una vegetazione più o meno attiva. Erasi per lungo tempo creduto che colà, dove cominciano le nevi eterne, la media temperatura dell'anno fosse essenzialmente la temperatura del ghiaccio che si liquefà; ma il Sig. Humboldt ha dimostrato con l'esperienza che non è affatto così, e le osservazioni del Sig. Leopoldo de Buch sulle nevi perpetue della Norvegia e della Lapponia hanno dato a questa verità una conferma totale. Nella zona torrida al limite delle nevi la media temperatura dell'aria è di 1° 5 al di sopra di zero: mentre in Norvegia fra 60 e 70° di latitudine questa temperatura si abbassa a 6 gradi sotto di zero. Del qual fenomeno non è malagevole il dar ragione; dappoichè secondo l'osservazione del Sig. de Buch il limite delle nevi soprattutto dipende dalla temperatura de' più caldi mesi dell'anno; esso elevasi quando questa temperatura è più alta, e si abbassa quando è minore. Ora la temperatura de' mesi più caldi in un determinato luogo dipende dallo stato più o meno puro o più o meno nebbioso dell'atmosfera, dalla natura e dall'inclinazione del suolo, da'venti cui va esposto, ecc.; e ben s'intende, che poste queste cose da un'altra parte tutte uguali, il limite delle nevi tanto più sarà alto, quanto meno estesa sarà la massa delle nevi.

Un colle di picciole dimensioni, che prendesse origine in una pianura per estollersi nell'aria fino alla region delle nevi, avrebbe sempre verso la sua vetta dei mesi estivi molto più caldi, che non un enorme masso, il quale raffreddatosi durante l'inverno può resistere più lungamente all'aria temperata che l'inviluppa l'està, e

determinare da lungi un abbassamento più o meno sensibile di temperatura.

Noi abbiamo riunito nella tavola che segue le principali osservazioni, che sonosi fatte finora sul limite delle nevi perpetue, dall'equatore insino alle latitudini da 60 a 70°.

Latitudine e nome dell'osservatore.	Nomi de' luoghi.	Altezza del limite delle nevi al di sopra dell'Oceano	Temperat. media.
0 a 10° Sig. Humboldt.....	Rucupichincha, Huaupichincha, Antisana, Corazon, Cotapaxi, Chimborazo	4795 metr.	1,5
14 a 19° Sig. Pentland.....	Cordigliera orientale dell'Alto-Perù	5200	
	Cordigliera occidentale dell'Alto-Perù	5130	
19 a 20 Sig. Humboldt.....	Oribaza, Popocatepetl, Femmeblanche, Nevado de toluca	4580	
27 a 36 Sig. Webb.....	Himalaya (pendio meridionale)	3850	
	Himalaya (pendio settentrionale)	5000	
42 a 43 Engelhardt e Parrot.....	Caucaso	3216	3,5
	Pirenei	2729	
Ramond.....	Alpi	2670	4
45 a 46 Sig. Wahlenberg.....	Carpazii	2592	
49.....			
61 Sig. Leopoldo de Buch..	Picco di Saletind	1690	6
70 Sig. Leopoldo de Buch..	Le Storvans-Field	1060	5

Noi qui aggiungeremo seguendo il Sig. Humboldt alcune considerazioni sopra ognuno di questi siti (Mem. del Sig. Humboldt sul limite inferiore delle nevi, ecc. *Ann. di Fis. e di Chim.* tom. XIV, pag. 1):

1° Sotto l'equatore nel prodigioso masso delle Ande, che i Peruviani fastosamente appellano *la Cordigliera*

reale delle nevi, ei non si trova, dall' una cima all'altra e per le diverse stagioni dell' anno, un' oscillazione maggiore di 25 a 30 metri nel limite delle nevi.

Nelle abitate pianure di Antisana, che sono ricoperte di magnifiche zolle composte di erbe aromatiche, alcune volte a 4, 200 metri di altezza cadono tre o quattro piedi di neve, che si mantengono ben cinque o sei settimane.

Nel regno di Quito mai non si vede la neve al di sotto di 3, 700 metri, dove la temperatura media è circa 9.°

La grandine viene più giù della neve a 1000 metri ed anche a 600; ne cade ogni cinque o sei anni una volta, ma pare che non siasene mai veduta nelle pianure inferiori.

È in gran dubbio che in Affrica esistano presso l'equatore monti abbastanza alti per offrire a que' climi lo spettacolo delle nevi eterne.

2.° L'osservazione del Sig. Pentland è oltremodo notabile, dappoichè fa essa vedere che, dal 14mo al 19mo grado di latitudine australe, il limite delle nevi è più alto che non sotto lo stesso equatore; e diverrebbe importante di conoscere l'estensione delle oscillazioni annuali, che questo limite può provare, per dedurne l'influenza delle pianure alte e della configurazione del suolo.

3.° Il limite delle nevi non si abbassa mai che di 215 metri passando dall'equatore alla latitudine di 19 in 20°, in una estensione cioè di 400 leghe.

L'annua oscillazione delle nevi è molto maggiore qui che sotto l'equatore; qualche volta giunge fino a 600 ovvero 700 metri di estensione.

Quasi alla stessa latitudine le isole Sandwich presentano ad O-Whyhee la notevole vetta del Mowna-Roa, alla quale si danno più di 5,000 metri di altezza; meriterebbe aversene un'esatta misura, conciossachè paia ben fermato che qualche volta è spogliata interamente di nevi.

4.° La pendice meridionale dell' Himalaya dà il limite delle nevi quasi all'altezza, che potrebbe dedursi dalle osservazioni messicane; ma la pendice settentrionale presenta un fenomeno molto straordinario, dappoichè,

giusta le misure del Sig. Webb, e le osservazioni da lui fatte nel tempio di *Kedarnach*, e nel *colle di Niti* il limite delle nevi s'innalzerebbe a 5, 000 metri, cioè ad una altezza maggiore che sotto all'equatore. Al certo ei fa mestieri investigar la spiegazione di questo stupendo fenomeno nell'immensa estensione delle alte pianure, e nella configurazione del suolo.

5.° Il Caucaso ed i Pirenei sono alla medesima latitudine, e non per tanto il limite delle nevi si trova nel Caucaso meglio di 400 metri più alto che a' Pirenei. In queste contrade la temperatura de' mesi più caldi darebbe senz' alcun dubbio pregevoli indicazioni sulla cagione di tal differenza.

6° Le osservazioni del Sig. Leopoldo de Buch su questa vasta catena, che divide la Norvegia in tutta la sua lunghezza, e che si estende dal 58mo al 71mo grado di latitudine, sono acconcissime a mostrar l'influenza, che lo stato umido dell'atmosfera può esercitare eziandio sul limite delle nevi. Imperocchè non si può ora dubitare che il considerevole innalzamento di questo limite fino a 1,060 metri in queste alte latitudini non sia l' effetto di tai circostanze e della vicinanza del mare.

Temperature a diverse profondità al di sotto del suolo.

510. *Dell' esistenza di uno* strato invariabile, *posto ad una certa profondità di sotto al suolo, ed in cui la temperatura è la stessa da secoli.* — Fin dal 1671 il Cassini aveva riconosciuto che la temperatura delle cave dell'Osservatorio di Parigi non prova nessuna variazione nello spazio di un anno. Nel 1730 Lahire aveva osservato lo stesso fatto; ma il conte Cassini oggidì socio dell'Accademia delle Scienze il primo immaginò quanto eravi d' importante in questo notevole fenomeno: ei cominciò nel 1771 alcune serie di esperimenti per istudiarlo, e finalmente il dì 4 luglio 1783 di accordo col Lavoisier stabilì nelle cave dell'Osservatorio un apparecchio sensibilissimo, che dovea dare decisivi

risultamenti. Questo apparecchio conservato e custodito dalle cure del Sig. Bouvard non ha sofferto nessun cangiamento da trentadue anni. Esso è disposto così:

Dal suolo delle cave, 27^{metr}, 60 sotto il pavimento dell'Osservatorio, si eleva un masso di pietra 1^{metr}, 30 alto, che ha un gran vaso di vetro *vv'* (*fig. 365*), dell'altezza di 50 centim. sopra 35 in 40 centim. di diametro. In questo vaso ripieno di finissima sabbia è collocato il termometro *tt'*; la sua scala *hh'* è di vetro, ed è mantenuta in un quadro di rame, ch'è anch'esso confitto nelle pareti della campana per mezzo delle traverse *s, s', s''* e dei fermagli *gg'g''*. Questo termometro venne un tempo costrutto dal Lavoisier con mercurio ben purificato; la palla ha circa 7 centimetri di diametro: il tubo è molto sottile; ed un grado occupa sulla sua lunghezza 95 in 97 millimetri. In tal modo possono di leggieri valutarsi i semi-centesimi di grado, che occupano tuttavia circa i $\frac{5}{10}$ di un millimetro. Siccome questo termometro non segna che 15 in 16° sopra 0°, al di sopra dell'asta in *r* si è formato un piccolo serbatoio per accogliere l'eccesso del mercurio, ove la temperatura giungesse ad elevarsi al di sopra di 16°.

Le antiche osservazioni del Sig. Cassini e quelle assidue fatte per trentadue anni dal Sig. Bouvard, mostrano evidentemente che da più di cinquant'anni la temperatura delle cave dell'Osservatorio è perfettamente costante, ed eguale ad 11°, 82: imperocchè in tutto questo periodo il termometro ha variato sol di 25 centesimi di grado al di sopra o al di sotto di 11°, 82; e dopo si è riconosciuto che una corrente di aria casualmente stabilita nei sotterranei da'lavori delle petriere di Parigi, era stata la cagione probabilissima di queste oscillazioni.

Parigi è il solo luogo della terra, dove siasi fatta una serie tanto bella di osservazioni esatte e non interrotte per più di mezzo secolo; ma certo un fenomeno, che segue con tal regolarità, non può essere un fenomeno accidentale, e noi conchiuderemo che in tutt'i siti ad una certa profondità sotterra vi abbia un punto, la temperatura del quale rimane per anni costante, qua-

lunque siano l'estreme variazioni, che si sviluppano e si succedono nella superficie del suolo.

La serie di questi punti di temperatura invariabile forma intorno del globo una superficie, che appelleremo *strato invariabile*; ed è in questo dove si estinguono tutte le variazioni improvvise o periodiche, che la crosta superiore della terra prova mercè le alternazioni del dì e della notte, il cambiamento di vento o il rinnovellarsi delle stagioni.

Sembra che nell'equatore questo invariabile strato sia ad una piccola profondità sotterra; la qual profondità cresce con la latitudine, e ne'climi nostri è di 25 in 30 metri. In tutt'i luoghi poi la temperatura di questo strato par che sia alquanto più alta dell'annua temperatura media della superficie, e par che l'eccesso aumenti con la latitudine.

Per tal modo noi siamo indotti a concepire di sotto al suolo ed intorno intorno alla terra un certo strato, ciascun punto del quale perpetuamente conserva la stessa temperatura, ch'è quasi la temperatura media del punto della superficie, a cui verticalmente corrisponde: ma noi dobbiamo concepire nel tempo stesso che questo invariabile strato non ha una regolare curvatura: le pianure, i monti, le valli, la natura del terreno, i laghi, i mari e forse mille altre cagioni gl'imprimono delle tortuosità particolari, che la sola esperienza ci potrà un giorno far manifeste.

Del moto del calore al di sopra dello strato invariabile. — Tra la superficie del suolo e la profondità di 20 in 25 metri sol un piccolo numero di osservazioni è noto, nè queste osservazioni giungono universalmente a più di 7 od 8 metri di profondità. Intanto la totalità loro mena a queste conseguenze, che sembrano applicarsi sopra ogni altro alle medie latitudini dell'emisfero boreale:

1° Le diurne variazioni alla sola profondità di un metro circa si fanno scorgere;

2° Le temperature medie annuali de' vari strati poco differiscono dalla temperatura media annuali dell'aria.

3° Le differenze tra il maximum ed il minimum di ogni strato decrescono in progressione geometrica per le profondità, che crescono in progressione aritmetica cominciando dalla superficie: sicchè, rappresentando con x la profondità di uno strato e con d la differenza tra il suo maximum ed il suo minimum, hassi $d = ab - x$, essendo a e b due costanti, che si determinano con l'osservazione; purtuttavia questa formola non è esatta per $x = 0$; essa cioè non riproduce le variazioni superficiali;

4° La totalità delle osservazioni dimostra che alla profondità di 8 in 9 metri l'annua variazione non supera di 1°; ed a 15 in 16 metri non è più di 0°, 1; ed a quella di 20 in 25 metri non giunge ad un centesimo di grado;

5.° Alla profondità di circa 8 metri, dove cioè la variazione è di 1°, le stagioni sono precisamente al rovescio, il maximum accade verso il primo di gennaio, ed il minimum verso la fine di giugno.

511. *Della temperatura a grande profondità.*— Parecchi osservatori avevano un tempo ravvisato che nelle profondità delle mine si soffre un sensibil calore, ma in quel tempo era più lo studio di spiegare i fatti, che di osservarli. Questo calor sotterraneo veniva spiegato prima di confermarne l'esistenza in un modo preciso, e spiegavasi in diversi modi: alcuni, come Boyle, l'attribuivano alla decomposizione delle pirite, o piuttosto a quelle specie di fermentazioni, alle quali si aveva spesso ricorso per ispiegare i fatti che impacciavano; altri la risguardavano, siccome una conferma od una illazione della celebre ipotesi del *fuoco centrale*, ch'era stata immaginata ne' più rimoti tempi, e poscia di quando in quando adottata o reietta da' filosofi e da' fisici. Ma quando lo spirito di dubbio e di esame tenne dietro a quello del sistema, quando condiscesero ad investigare la verità con la via de' dati sperimentali e non delle sottigliezze loiche; subito si comprese che l'esistenza o la non esistenza del calor sotterraneo era una delle maggiori quistioni, che in fisica si potesse proporre, e che più sarebbe efficace

a risolverla un'osservazione termometrica, delle più eloquenti dissertazioni (7). Sembra essere stato Gensanne il primo osservatore, che abbia portato il termometro in profondità gradatamente crescenti; e che abbia questo importante fatto scoverto: che la *temperatura cresce con la profondità.* Questi esperimenti risalgono fino all'anno 1740: e furono fatti nelle mine di piombo di Giromagny tre leghe lungi da Befort. De Saussure fece consimili esperimenti il 1785 nel cantone di Berna. Anche il Sig. Humboldt fece nel 1791 insieme con Freiseleben serie numerose di esperienze nelle mine di Freyberg. Nel 1802 aprì una via novella a questa fondamental quistione il Sig. Daubuisson, e da quel tempo le osservazioni si moltiplicano in Francia, in Alemagna, in Inghilterra, in America, e quasi in tutt' i paesi, dove possono i viaggiatori penetrare e dimorare assai tempo.

Generalmente per far queste osservazioni si trae profitto dagli anditi sotterranei scavati per mandare ad effetto le mine e le abbondanti sorgenti, che si scontrano in tali scavamenti; ma ne' paesi, dove riesce di forar pozzi artesiani a grandi profondità, sogliono giovarsi eziandio di siffatti abissi. (8) Nel primo caso si stabiliscono de' termometri sedentari, che sono direttamente osservati, nel secondo si è costretto di aver ricorso a' termometri a maximum ed a minimum. E fra questi apparecchi quelli adoperati con maggior successo sono i termometri a maximum ed a minimum del Sig. Walferdin ed il termometro metrografo; noi ne indicheremo la struttura.

Termometro a maximum del Sig. Walferdin. — Questo istrumento (*fig. 366*) è un termometro a mercurio ordinario, avente nella sua parte superiore un *serbatoio di sboccamento a* di una forma particolare, nel quale in punta isolata *b* si sprolunga il tubo dell' asta. Ammettiamo che questo termometro abbia per esempio 45° di corso, e che si voglia osservare una temperatura, che suppongasi di 30° circa: s'incomincia dall'inclinar l'istrumento per modo, che la punta *b* metta capo nel mercurio di riserva (*fig. 367*); si riscalda alquanto e poi si raffredda sino ad una temperatura inferiore a quella, che

si vuol misurare; allora nell'asta e nell'inferior serbatoio passa più mercurio che non abbisogna; si raddrizza l'apparecchio, e dando una piccola scossa il mercurio di riserva abbandona la punta e cade nella pancia *a*. Fatto ciò s'immerga il termometro in un bagno con un buon termometro di paragone; il bagno per esempio si porta a 20°; l'eccesso del mercurio esce via per la punta, e si sa che il tubo è esattamente pieno a 20°. L'apparecchio è già adattato per l'osservazione; ora si può metterlo nel suo fodero, e calarlo in fondo del pozzo, di cui vuolsi avere la temperatura. Se si passa per strati inferiori a 20°, il mercurio scende; ed in ciò non evvi nessuno inconveniente; ma non appena si giunge ad uno strato di 20° il tubo si riempie; ed infine giungendo agli strati che oltrepassano i 20°; lo sboccamento incomincia e continua insino a che il termometro non siasi posto in equilibrio dopo bastante tempo. Allora si dà una scossa per far cadere la palla nella punta (*fig. 368*); risalendo l'apparecchio, la colonna cala nel tubo, e quando si trae dal fodero, il suo vertice è più o meno allontanato dalla punta. Poi s'immerge di nuovo nel bagno a 20° misurato col termometro di paragone, e si vede il punto in cui si arresta il vertice della colonna: se questo punto corrisponde a 10° cominciando dalla punta, chiaro è che la temperatura della sorgente è 20 + 10.

Prima di cominciare si potrebbe fare a meno di mettere il termometro in un bagno di temperatura nota, ma in tal caso dovrebbesi dopo l'osservazione riprodurre artifizialmente e con saggi graduali, una temperatura capace di riempire esattamente il tubo; questa temperatura, misurata col termometro di paragone, manifestamente sarebbe la temperatura maximum a cui l'apparecchio sarebbe stato esposto.

Termometro a minimum del Sig. Walferdin. — Questo strumento è rappresentato nella figura 369; ed è anche un termometro di misura ordinaria, ma nella parte inferiore dell'asta trovasi pure un piccolo serbatoio di alcool, nel qual mette capo la punta isolata che termi-

na il tubo, e nel tempo stesso nella parte superiore evvi un serbatoio parimente ripieno di alcool. Se, per esempio, si vuole osservare una temperatura ad una grande profondità nel mare, che si suppone dover essere di 6°, s'incomincia dal raffreddar l'apparecchio a 0 per esempio od almeno a molti gradi sotto 6°; allora inchinasi l'apparecchio perchè il mercurio tocchi la punta (*fig. 370*), e si riscalda un pò, perchè il dilatamento sforzi il mercurio a salire nell'asta; fassi per tal modo passare una colonna che occupa una lunghezza da 10 a 15°; ciò fatto si raddrizza l'apparecchio, s'immerge in un bagno di temperatura nota e superiore a 6°, per esempio + 12°, poi si nota la divisione corrispondente alla cima della colonna di mercurio: allora l'apparecchio è atto all'osservazione; e si fa scenderlo nel mare: se i primi strati son caldi, la colonna di mercurio è respinta, e può esserlo fino ad entrare in parte nel serbatoio superiore: ma quando si giunge agli strati freddi, il mercurio torna a calare insino alla punta inferiore; e ricade in parte nel serbatoio finchè l'equilibrio non sia ristabilito; quando si fa risalirlo, il dilatamento solleva la colonna del mercurio rimanente, ed allora basta legger sul tubo a qual numero di gradi essa corrisponda; questo numero diffalcato di 12, temperatura del regolatore o del punto di partenza, dà l'abbassamento della sorgente al di sotto di questo punto di partenza.

Termometrografo. — Esso componesi di un serbatoio di alcool, di una colonna ricurva di mercurio, e di 2 cilindri di ferro avviluppati di vetro, che servono d'indice (*fig. 372*); l'alcool riempie tutto il serbatoio *r* ed una parte del tubo fino in *m*; la colonna di mercurio scende fino alla curvatura inferiore *i*, e rialzasi fino in *m'*; al di sopra di *m'* trovasi un'altra colonna di alcool, che riempie in parte il piccolo serbatoio *r'*; uno degl'indici è rappresentato di grandezza naturale nella figura 373; il piccolo inviluppo del cilindro di ferro è schiacciato nell'estremità, onde si riposa sul mercurio, ed un capello forma un fermaglio elastico che preme le pareti del tubo, ed è bastante di trattenere l'in-

dice, quando è semplicemente ondeggiante nella colonna di alcool: ma quando l'indice è spinto dal mercurio, l'elasticità del capello non lo impedisce di procedere innanzi; ed in tal modo succede ch'esso cammini o resti in riposo, secondo che il mercurio lo spinge o l'abbandona. Quando si vuol mettere l'apparecchio in esperienza, si fanno scendere gl' indici sul mercurio per mezzo di una calamita. Nella figura 372 si vede che l' indice *b* è destinato a segnare le temperature più basse o i minimum, e l' indice *h* le più alte o i maximum. (9)

Il termometrografo ed i termometri del Sig. Walferdin debbono esser chiusi in astucci metallici abbastanza forti per sopportare le pressioni de' profondi strati, nei quali si vuol farli scendere, e chiusi ermeticamente in modo che queste pressioni non si possano internamente trasmettere: la figura 374 rappresenta uno di questi astucci; e bisogna avere cura di riempirli di acqua fino alla metà o tre quarti, perchè l' equilibrio di temperatura si stabilisca con la maggiore prestezza possibile.

Tutte le osservazioni raccolte nelle varie regioni del globo, dallo strato invariabile sino a profondità di 500 metri, menano senza eccezioni a queste conseguenze, le quali ora sono del tutto incontrastabili:

1° Al di sotto dello strato invariabile, dove tutte le oscillazioni del termometro della superficie, dopo un gradato indebolimento, si estinguono, le temperature rimangono perfettamente costanti a qualunque profondità, senza provare la minima variazione per interi anni, e queste temperature costanti vanno crescendo, siccome si penetra in maggiori profondità.

2° L'accrescimento progressivo di temperatura varia da un luogo ad un altro in limiti molto estesi: in certi siti basta scendere 14 o 15 metri sotto lo strato invariabile per ottenere un elevazione di temperatura di 1°; in altri al contrario bisogna scendere più di 50 in 60 metri; per media si ammette generalmente 25 in 30 metri per 1°; ed è quasi ciò che si ottiene a Parigi nel pozzo di Grenelle, che di presente oltrepassa 420^{m} sotterra. (10)

512. *Temperatura delle sorgenti.* — Tutte le sor-

genti abbondanti hanno una temperatura, che pochissimo varia nelle diverse stagioni dell' anno: per l' emisfero nostro esse toccano generalmente il loro più alto grado di calore verso il mese di settembre, ed il maggior grado di freddo verso il mese di marzo; la differenza tra queste due epoche estreme giunge ad 1° in 2°. La temperatura media delle sorgenti è come quella degli strati del suolo che attraversano, un pò più alta della temperatura media dell' aria. Nondimeno il Sig. Vahelenberg ha comprovato per le latitudini alte che questo eccesso può giungere a 3 in 4°. Alcune osservazioni farebbero al contrario supporre che sotto la zona torrida la media temperatura dell' aria superi alquanto quella delle sorgenti.

Quanto alle sorgenti termali esse giungono alcune volte a temperature prossime al bollimento, e quanto è finora noto sulla situazione di tali sorgenti non permette di decidere se debbano questi alti gradi di calore alla profondità onde prendono nascimento, o se lo debbano ad alcune circostanze particolari agli strati che attraversano. Per toglier di mezzo la difficoltà, non basta osservare che in parecchie di queste sorgenti la temperatura è rimasta costante per lunghi anni; potendosi benissimo immaginare delle azioni locali, che non si affievoliscono od anche non si alterano per secoli: le sorgenti saline, che si cavano, ne sono un esempio, e se si opponesse che queste derivano forse dal mare, e che però la cagione, che le rende saline, non è una cagione locale, si potrebbe rispondere che questa origine è almeno contrastatissima, e del rimanente che havvi un gran numero di sorgenti minerali, che non vengono certamente dal mare, e che sembrano tenere in soluzione gli stessi elementi e nella stessa proporzione da un grandissimo numero di anni.

Ora, se vi sono delle cagioni locali, bastanti ad introdurre in un modo invariabile e permanente nelle acque degli elementi che ne modifichino la natura, si può anche benissimo ammettere che vi siano delle cagioni locali bastanti di mutarne la temperatura in un modo per-

manente. Noi qui accenniamo siffatte considerazioni sol per mostrare che la quistione non è risoluta, e che offre un soggetto di ricerche bello ed esteso.

In parecchi luoghi del globo e particolarmente presso a' vulcani in attività si trovano delle sorgenti termali che zampillano, ed altre eruzioni di acqua o di gas, che anche meritano tutta l'attenzione de' meteorologisti e dei geologi. Importa studiarne la temperatura e la situazione. Noi qui citeremo ad esempio la famosa sorgente del *Geyser* in Islanda. Il Geyser ha dell'eruzioni quasi periodiche, le quali escono da un vasto bacino, che ha circa 23 metri di profondità e 60 di diametro. Incontanente si ode un romor sotterraneo spaventoso, e subito si veggono zampillare dall'apertura del bacino, e fino all'altezza di 100 metri al di sopra del suolo, enormi colonne di acqua, che si trascinano corpi pesanti ed anche ciottoli di grande volume. La temperatura di queste acque è di 82.° Alcune volte l'eruzioni son poco numerose nello spazio di un dì; altre volte se ne annoverano molte in un minuto.

513. *Della temperatura de' laghi e de' fiumi, e del loro congelamento.* — Gli strati superiori dell' acqua provano ne' laghi considerevoli variazioni di temperatura; è noto che possono l'inverno gelarsi, e che nell'està giungono a temperature di 20 in 25°. Ma quel che accade nelle superficie non si riproduce negli strati più profondi: evvi in queste masse di fluidi una distribuzion del calore, che non segue nè per le stesse cagioni nè secondo le stesse leggi che nei solidi, ed importantissima cosa sarebbe di far esperimenti su tal soggetto. Credo che de Saussure sia il primo osservatore, che abbia trattato questa gran quistione: egli ha percorso la maggior parte de' laghi della Svizzera; ed ha determinato la lor temperatura nella superficie ed a varie profondità; ed egli ha comprovato questo notevole fatto, che in grandi profondità la temperatura dei laghi è di circa 5 gradi: allora non era noto che l'acqua ha un maximum di densità, ma l'ultimo fatto spiega di leggieri il primo.

Nella stagione calda dell'anno due cagioni concorrono ad innalzar la temperatura degli strati superiori del-

l'acqua de' laghi: l'aria che opera col suo contatto; ed il calor solare che penetra ad una profondità più o meno grande. Questi strati riscaldati si mescolano in mille guise mercè l'agitarsi delle onde; ma si mescolano senza andare a fondo, perocchè la loro leggerezza specifica le sostiene incessantemente, ed anche perchè la più grande agitazione delle onde non si fa mai sentire al di là di una piccola profondità.

Per tal modo, nell'està e fino al terminar dell'autunno, la temperatura debb'essere senza posa decrescente con la profondità: gli è quanto di fatto mostrano gli esperimenti di De Saussure, e quanto ha comprovato di poi il Sig. Labèche con una cura particolare. (*Ann. di Fis. e di Chim.*, tomo XIX, p. 77).

Nella stagione fredda lo strato superiore si raffredda per due cagioni, pel contatto dell'aria fredda e pel raggiamento, soprattutto pel raggiamento notturno. Questo strato raffreddandosi si contrae; esso acquista una maggior densità, e cade ad una piccola profondità mischiandosi con gli strati più caldi, che gli stavan di sotto; appena caduto è sostituito da un altro, che si raffredda e cade a sua volta; segue un altro, che prova gli stessi effetti; e mercè queste correnti di continuo ascendenti e di continuo discendenti tutti gli strati superiori si raffreddano. Ma, si tenga sempre presente, tutto il calore perduto si perde nella superficie. Se l'acqua non avesse un *maximum* di densità, chiaro è che in tutta la stagion del raffreddamento la temperatura sarebbe ancora decrescente con la profondità; dappoichè, essendo gli strati più caldi nel tempo stesso i più leggieri, bisognerebbe, per obbedire alle leggi dell'equilibrio, che fossero anche i più alti. Sicchè la superficie non potrebbe giungere alla temperatura zero, se non quando almeno tutta la massa fosse almeno alla temperatura zero, epperò vi sarebbe un congelamento simultaneo in tutta la grandezza del lago, dalla superficie sino alla maggiore profondità. Ma per cagione del *maximum* di densità i fenomeni seguono in tutt'altra guisa: appena gli strati della superficie sono giunti alla temperatura *maximum*, cadono giù; altri ne prendono il luogo, che cado-

no a lor volta, sino a che la massa in tutta la sua doppiezza sia giunta a questa temperatura limite. Immaginiamo un momento che i freddi dell'inverno siano per ben lungo tempo durati per istabilir questa distribuzione di calore e di densità: continuando il freddo, *e sempre dalla superficie*, il superiore strato non potrà cader più, dappoichè diventa più lieve nel tempo stesso che diventa più freddo; adunque l'abbassamento di temperatura potrà continuare per esso, e prolungarsi indefinitamente, conciossiachè rimarrà indefinitamente più lieve. In una massa perfettamente tranquilla e senza agitazione questo primo strato adunque dovrebbesi gelare il primo, senza che gli strati inferiori partecipassero dell'abbassamento della temperatura, eccetto se ciò non accade mercè la conduttibilità, ch'è sempre debolissima nei liquidi. Ma siccome in realtà sempre si riproduce un'agitazione più o meno violenta, e quindi più o meno profonda, certo non sarà il primo strato soltanto che si raffredderà al di sotto del *maximum*, ma tutta la doppiezza degli strati incessantemente mischiati dall'agitazione delle onde. Durante tutto questo raffreddamento gli strati inferiori rimarranno alla costante temperatura del *maximum* fino alle maggiori profondità. Sicchè in questo tempo la temperatura sarà crescente con la profondità fino al primo strato, ch'è 4° 4; ed al di sotto di questo la temperatura sarà costante. Non si hanno molte sperienze fatte nel rigor dell'inverno, ma tutte tendono a confermare questo risultamento.

Ecco perchè ne' laghi profondi il congelamento incomincia di necessità dalla superficie, e mai non penetra se non lentissimamente ad una profondità alquanto considerevole.

Lo stesso principio ci fa ancora vedere che nelle acque tranquille e profonde bisogneranno a determinare il congelamento freddi rigidissimi e moltissimo tempo prolungati: dappoichè fa mestieri che tutti gli strati, che sono stati riscaldati nella stagione calda, abbiano potuto venire a perdere nella superficie il calore, che li mantiene al di sopra della temperatura *maximum*; e se questi strati formano una doppiezza di 5 o 600 piedi chiaro è

che dovranno, nelle circostanze medesime, impiegare un tempo più lungo in passare di mano in mano sulla superficie per perdervi il loro eccesso di temperatura, che se formassero solo una doppiezza di 20 ovvero 30 piedi. Verso le rive, nelle secche di una grande larghezza ed in tutt'i luoghi, dove non ci ha che una piccola profondità, vedrannosi adunque formare de'fiocchi di ghiaccio ed acquistare una gran doppiezza, mentre nel largo, dove la profondità è grande, la superficie rimane libera, e la temperatura si mantiene al di sopra di zero.

Intanto qui si presenta una quistione a risolvere, sulla quale finora non abbiamo che incerti dati: ed è di sapere a qual profondità possono farsi sentire i calori estivi. Se per esempio non possono farsi sentire che a 500 piedi, un lago 10,000 piedi profondo non gelerà più tardi di un lago di 500 piedi; dappoichè nel primo gli strati, che sono al di sotto di 500 piedi rimanendo alla temperatura costante del *maximum* in tutta la durata dell'anno, chiaro è ch'essi sono come se non esistessero, e che possono immaginarsi separati dal resto della massa senza turbare in niente i fenomeni, che seguono negli strati superiori.

Sarebbe pure importante il far degli esperimenti sulla temperatura dell'acqua nella sua superficie nel punto del congelamento; dappoichè tutto sembra indicare che questa temperatura può abbassarsi al di sotto di zero, senza che il congelamento si operi, o che vi si opponga la continua agitazione delle molecole, o che altre cagioni vi possano ancora concorrere.

Se prima del congelamento la temperatura di un lago ha dovuto un istante esser di 4° 4 in tutta la sua profondità, facil cosa è il vedere che dopo lo scioglimento del gelo lo stesso fenomeno dee riprodursi, prima che gli strati superficiali si possano riscaldare al di sopra del *maximum*. Purtuttavia questi due stati di equilibrio suppongono che le cagioni del riscaldamento e raffreddamento non siano troppo improvvise, perchè le correnti ascendenti e discendenti si possano stabilire con regolarità.

Ne'*fiumi* la distribuzion del calore si effettua con

altre leggi per cagione del moto di trasferimento delle molecole liquide. Di fatti ne risulta un continuo miscuglio di strati superiori ed inferiori, che tende a stabilire una temperatura uniforme in tutta la massa. Intanto, siccome questo moto è diverso nella superficie e nel fondo, nel mezzo del lido e verso le rive, bisogna aspettarsi un gran numero di fenomeni accidentali determinati da queste circostanze. Fra questi fenomeni que' del congelamento soltanto sono stati osservati con qualche cura. E con esperienze decisive si è comprovato che in certi casi il congelamento incomincia nella superficie, ed in altri al contrario nel fondo.

Quando i fiumi *portano diaccioli* si può generalmente dire che tutt'i suoi diaccioli, i quali si urtano ed acquistano con l'urto delle forme rotonde o angolari, sono stati fin dal principio formati nella superficie: alcuni sono stati distaccati dagli orli, ma altri non sono stati in origine che piccoli embrioni, piccole particelle ondeggianti, le quali hanno acquistato volume galleggiando sull'acqua.

La formazione de'primi diaccioli non cade in dubbio, dappoichè si veggono le sponde ricoperte di una lamina di ghiaccio, incessantemente battuto ed incessantemente fatto in pezzi dalle onde. Quivi il congelamento incomincia, perchè l'acqua in generale vi è meno profonda, e perchè sta incessantemente a contatto con un terreno raffreddato dal raggiamento e dall'aria. Il ghiaccio che vi si attacca si raffredda a sua volta per questa doppia cagione, e diventa allora al pari della sponda medesima un corpo freddo capace di gelar ciò che tocca. I frammenti voluminosi od anche impercettibili, che sono rotti in questa massa, diventano ondeggianti mercè la lor leggerezza specifica; essi più dell'acqua si raffreddano, e le gocce che cadono sulle rive incontanente si gelano, perchè diventano fredde ed immobili.

La formazione de' diaccioli nella stessa superficie dell'acqua, lungi dalle sponde e da qualsiasi corpo solido, è stata posta in dubbio da alcuni fisici: ed è difficile in fatti il darne una prova diretta, imperocchè se

nel mezzo si trovano frammenti od anche gli elementi che li formano, sempre si può supporre ch'essi vengano dalle sponde e che ne siano stati staccati dalle onde. Ma intanto bisogna convenire che la superficie libera delle acque può essere indefinitamente raffreddata al di sotto di zero, e che perciò essa malgrado il moto dee finalmente ingenerare gli aghi di ghiaccio, che poi s'ingrandiscono, vie più raffreddandosi pel contatto dell'aria e pel raggiamento.

La formazione del ghiaccio nel fondo stesso dell'acqua è stata lungo tempo contrastata; ma diligenti osservatori ne han raccolte prove dirette, ed ora trattasi di spiegarne la causa, non più di negarne la possibilità. L'acqua agitata de' fiumi e delle riviere può senza dubbio essere abbassata molti gradi al di sotto di zero senza gelarsi; e là, dove la profondità non è grandissima, tutta la doppiezza dello strato liquido può partecipare di questo abbassamento di temperatura: da ultimo le materie solide del fondo possono anche parteciparne col loro prolungato contatto con l'acqua, ma il moto è verso il fondo men rapido che nella superficie. Le disuguaglianze del suolo formano una moltitudine di piccole cellette o di una specie di ricetti, dove l'acqua non è che fievolmente agitata; nel qual caso s'intende bene che il congelamento si compie, e vi si compie anche più presto che nella superficie. Forse altre cagioni ancora possono favorire questo fenomeno, ma il giuoco, che fanno le superficie solide raffreddate non è tale, quale alcuni suppongono; dappoichè nell'esperienza di Fareinheit, mercè la quale si abbassa l'acqua 10 in 12 gradi sotto zero senza che si geli, il liquido tocca le pareti raffreddate della capsola che lo contiene, ed in questi punti di contatto esso non prova altro congelamento, fuorchè ne' punti dove la superficie è libera.

Perchè le riviere ed i fiumi possano in tutta la loro larghezza gelarsi, bisogna un vivissimo freddo e durevole molto; nondimeno questo fenomeno varia con l'altezza, la velocità e la profondità delle acque.

Quando una riviera è *rappresa*, il nappo di ghiaccio,

che la ricopre cresce rapidamente in doppiezza nei primi momenti; ma poscia sempreppiù lentamente il freddo penetra per l'imperfetta conduttibilità del ghiaccio. Il raggiamento delle notti sembra ch' eserciti una grande influenza sopra questo fenomeno, dappoichè alcune volte si osservano distintamente gli strati, che sonosi formati di mano in mano gli uni su gli altri. Per esempio nell'inverno del 1821 sonosi noverati fino a ventuno strati, tutti distinti in diacci 15 pollici doppi, formati su' laghi che circondano Nuova-Heaven (America); verso sopra, la doppiezza degli strati variava fra 12 e 18 linee; in giù verso la superficie dell'acqua erano solo di 3 a 6 linee: purtuttavia erasi ben confermato che il freddo era stato sempre crescente.

Il ghiaccio al pari di tutt'i corpi si può dilatar col calore e col freddo contrarre. Sovente ne nascono molte fenditure, che si formano con grande fracasso: alcune volte somigliano ad un fuoco di squadrone; altre volte i colpi sono più terribili di quelli del cannone.

Quando i ghiacci non sono rotti prima dello *scioglimento*, possono spesso produrre tremendi disastri. Di tutti gli espedienti immaginati per prevenire queste disgrazie, sembra che il più efficace sia d'introdurre sotto il ghiaccio di tratto in tratto una specie di piccole bombe, che poi si fanno scoppiare: l'esplosione ingenera numerose fenditure, ed i frammenti che ne risultano sono abbastanza piccioli per non temerne più.

514. *Della temperatura de' mari e della formazione de' ghiacci polari.* — In questi ultimi anni parecchi naviganti accorti han percorso i mari equatoriali ed i mari polari; dappertutto sulle temperature e sui fenomeni, che ne dipendono, essi han fatto moltissime serie di osservazioni, che sono infinitamente pregevoli per la scienza. Ma nelle Opere loro se ne dee cercare la discussione distinta: qui dobbiamo limitarci a presentare soltanto le conseguenze generali a cui menano.

Nel mare a grandi distanze dalle spiagge la temperatura dell'aria generalmente prova nello spazio di un giorno variazioni molto minori, che nelle terre ferme.

Per esempio, su' mari equatoriali la differenza tra il *maximum* ed il *minimum* del giorno al più al più è di 1 in 2°, mentre sulle terre ferme s' innalza a 5 o 6°.

Nelle regioni temperate fra 25 e 50 gradi di latitudine la differenza tra il *maximum* ed il *minimum* del giorno rimane ancor piccolissima; essa giunge di raro a 2 in 3°; mentre sulle terre ferme la differenza è grandissima; a Parigi alcune volte s'innalza a 12 o 15°.

La temperatura *minimum* è come in terra quella del sol levante; ma certi osservatori pensano che il *maximum* si trovi da presso al mezzodì, invece di essere a due o tre ore.

Quando la temperatura dell' aria si paragona con quella del mare nella sua superficie, si ottengono questi risultamenti:

Fra i tropici l'aria è generalmente nelle sue più alte temperature alquanto più calda della superficie dell'acqua, anche presa nelle sue più alte temperature.

Ma quando si prende la temperatura dell'aria e dell'acqua di quattro in quattro ore, siccome ha fatto il capitano Duperrey, e poi si paragonano tutte queste temperature tali quali si son presentate, si perviene ad un risultamento inverso, cioè che l'acqua generalmente è più calda dell'aria eziandio fra i tropici.

In 1,850 osservazioni fatte da questo pratico navigante fra 0 e 20° di latitudine nord o sud, nel tempo del suo viaggio d'intorno al mondo, il mare è stato 1,371 volte più caldo dell'aria, e questa soltanto 479 volte più calda del mare.

In latitudini più elevate fra 25 e 50°, l'aria rarissime volte è più calda della superficie dell'acqua; e nelle regioni polari è quasi senza esempio che l'aria si trovi calda quanto il mare: essa è sempre più fredda ed ordinariamente molto più fredda.

Se ora noi disaminiamo le temperature assolute del mare, sulla superficie ed a varie profondità, noi saremo condotti a queste conseguenze:

1° fra i tropici la temperatura diminuisce con la profondità;

2° ne' mari polari la temperatura cresce con la profondità;

3° ne' mari temperati compresi fra 30 e 70° di latitudine, la temperatura è tanto meno decrescente quanto la latitudine diventa maggiore, e vicino al parallelo di 70° essa incomincia a diventare crescente.

Adunque esiste una zona, per la quale la temperatura è quasi costante dalla superficie fino ad una grandissima profondità.

Dopo avere nelle precedenti proposizioni riassunta la totalità delle osservazioni fatte finora, rimane ad investigare le cause, che possono mantenere questa singolare distribuzion del calore nella massa mobile delle acque, che riempie l'immenso bacino dei mari.

Subito si comprende perchè la superficie delle acque non possa esser paragonata alla superficie del suolo, nè pel suo riscaldamento nel dì, nè pel suo raffreddamento la notte: dipende questo fenomeno dalla mobilità del liquido, le cui molecole sono incessantemente tramescolate fino ad una grandissima profondità, o dalle correnti, che dalle varie densità risultano, o dall'agitamento delle onde. Nel dì lo strato superficiale si riscalda meno, dappoichè l'evaporazione il raffredda, ed è incontanente respinto dall'agitazione; nella notte si raffredda meno, dappoichè raffreddandosi si contrae, ed il suo eccesso di densità lo farebbe subito ricadere, se il moto delle onde non lo mischiasse ogn'istante con gli strati vicini. Sicchè il riscaldamento ed il raffreddamento sono meno sensibili, conciossiachè succedano entrambi in uno strato più o meno doppio.

Ancora l'aria mercè il suo perpetuo contatto partecipa di questa uniformità di temperatura, che altre cagioni tendono a mantenere sulla superficie delle acque.

Ma la temperatura de' profondi strati del mare offre grandissime difficoltà: sotto l'equatore, alla profondità di mille braccia la temperatura è solo di 6 in 7 gradi: non potrebb'essere che l'acqua di questi strati avesse potuto prendere un tale raffreddamento in questi climi, dappoichè l'acqua nella sua superficie mai non cade

ad una temperatura più bassa di 20 ovvero 25°? Verso i poli, a 700 braccia di profondità, la temperatura s'innalza a 2 in 3°: forse non è impossibile che l'acqua di questi strati abbia potuto acquistare siffatto riscaldamento in tali contrade, poichè durante la calda stagione, quando i naviganti possono solcare i mari, la temperatura quasi mai non si eleva nella superficie al di sopra di zero?

Queste difficoltà non sono risolute del tutto: nondimeno ei non si può dubitare affatto, che correnti determinate dalla differenza delle pressioni, che tollerano gli strati dello stesso livello nell'equatore e verso i poli, non contribuiscano potentemente in produrre questa distribuzion del calore.

Una tra le conseguenze necessarie dell'abbassamento di temperatura nella superficie delle acque è la formazione degli eterni ghiacci, che coprono le regioni polari. Questo è uno de' maggiori fenomeni, che ci presenti la natura, e noi dobbiamo tentare di darne qui un'immagine.

Noi prenderemo dal capitano Scoresby specialmente i particolari, ne' quali possiamo entrare su tal subbietto: l'opera sua è stata in certo modo scritta sopra luogo: come pescator di balene Scoresby ha fatto dodici viaggi fino alle latitudini più alte; ed egli è ad un tempo fra' più intrepidi uomini di mare e fra gli osservatori più esperti, che abbiano frequentato quelle acque pericolose.

I diacci, ne' quali l'uom si abbatte sulle coste dello Spitzberg e della Groenlandia, ordinariamente hanno 20 a 25 piedi di grossezza; e spesso formano immense pianure, di cui non si scorgono punto i limiti dall'alto degli alberi della nave: si chiamano *campi di ghiaccio*: l'estensione loro può stimarsi di tre o quattrocento leghe quadrate. Alcune volte un campo di ghiaccio presenta una superficie perfettamente piana, sulla quale una carrozza potrebbe correre senza intoppi trenta o quaranta leghe. Altre volte è scabroso e disuguale; di tratto in tratto si veggono sorgere delle prominenze ovvero delle colonne 20 in 30 piedi alte, che fanno un aspetto degnis-

simo di pittura: ora hanno il bel colore turchino verdastro de' più brillanti topazi; ora di una densa nebbia coperti presentano nel loro vertice e nel loro contorno i più svariati accidenti.

Le ondulazioni dell'acqua, il moto delle onde od alcun'altra potente cagione rompono in un attimo un campo di ghiaccio, e lo riducono in pezzi di 100 in 200 metri quadrati. Questi pezzi separati si urtano e si disperdono, ma sono alcune volte trasportati da una rapida corrente: allora, se scontrano una corrente opposta, trascinano gli enormi frammenti di un altro campo di ghiaccio, queste montagne si cozzano con orrendo fracasso. Una nave, che si trovasse trascinata nella lotta, non potrebbe resistere all'urto più di una lamina di vetro ad una palla di archibugio. Moltissimi esempi ci ha di fieri naufragi prodotti da questa irresistibile potenza. Ma questa specie di correnti apre il mare ai naviganti; e quando eglino hanno spezzato i diacci, allora possono in certe direzioni andare incontro fino ai paralleli di 70 ad 80 gradi, dove sembra che le balene abbiano in preferenza dimora.

Se alcune montagne di ghiaccio sono rotte e come ridotte in polvere in questi terribili scontri, sonvene delle altre per lo contrario, che acquistano un accrescimento novello, e più formidabili diventano. I diaccioli innalzati ed equilibrati da' flutti, ricadono gli uni su gli altri, si sovrappongono, si coprono di frammenti più o meno voluminosi, ed in tal guisa formano delle vere montagne, in mille modi disegnate, che s'innalzano 10 in 15 metri al di sopra delle acque: la grossezza, che generalmente sovrasta alla parte sommersa, è come 1 a 4; sicchè l'altezza totale di questi monti è di 40 in 60 metri.

Alcune volte anche de' diacciuoli 30 in 40 metri lunghi, carichi ne' loro due estremi, si sommergono totalmente sotto le acque ad una profondità abbastanza grande, perchè la nave passi per di sopra alle stesse; ma la ciurma trovasi allora esposta al più fiero pericolo: il menomo urto, la più piccola cagione può turbar l'equi-

librio de' pesi, che tengono il diacciuolo sommerso; il quale si estollerebbe in tal caso con impeto, e lancerebbe la nave in aria, o almeno farebbela inevitabilmente capovolgere.

Nella baia di Baffin s'incontrano montagne di ghiaccio molto più alte che ne' mari della Groenlandia: i naviganti ne han misurate alcune, che si elevavano meglio di 30 a 40 metri sulla superficie dell'acqua; epperò avevano più di 200 metri di altezza totale. Si suppone che questi spaventevoli massi si formino nelle spiagge, dove chiudono i torrenti che mettono capo nel mare, e che ne siano poi staccate o dalla pressione delle acque o da qualche altra cagione. Di fatto in tutti questi spazi si veggono sulle rive de' monti di ghiaccio tagliati a picco, di un bel colore turchino, trasparente come l'azzurro del cielo, che ad una prodigiosa altezza si elevano. Nella *stagione del sole* le acque scorrono dall'alto della lor crosta e formano immense cascate nel mare, le quali vengono alcune volte rapprese dalle gelate. Allora è uno spettacolo maestoso, ma i naviganti lo ammirano da lungi: in un attimo quelle colonne, quegli archi giganteschi sospesi in aria si rompono con orribil fracasso e si precipitano nel mare.

La profondità non è molto grande ne'tratti di mare prossimi alla costa occidentale dello Spitzberg. Spesso le balene ne dan la misura in un modo incontrastabile: non appena sono colpite dal pescatore, s'immergono verticalmente sotto acqua con incredibile celerità; traendosi con loro l' arpone e la lenza; ma tosto ritornano nella superficie per rendere l'estremo sospiro, ed arrecando esse il segno della melma del fondo del mare, ben si può giudicare che la lunghezza della linea, che hanno percorsa, è la misura della profondità: giunge a 1000 in 2000 metri circa.

Verso la metà dell'intervallo compreso fra lo Spitzberg e la costa orientale della Groenlandia non si è rinvenuto fondo a 2500 metri.

Spesso il capitano Scoresby ha veduto formarsi il ghiaccio nel mezzo del mare a 20 leghe dalle rive. Ap-

pena diventan visibili i primi embrioni de' cristalli, il mare si calma, come se nella sua superficie si fosse sparso olio; questi cristalli giungono prontamente alla grandezza di 3 in 4 pollici, ed allora essi cominciano ad ammassarsi, se il freddo dura, per fare de'fiocchi più o meno larghi di ghiaccio, e che non tardano di avere due o tre decimetri di doppiezza.

In queste contrade la densità delle acque marine è 1,026; nello stato di riposo congelansi a — 2°. Le acque, che sono state concentrate dal gelo, possono giungere ad una densità di 1, 104; ed allora non si congelano che a — 10°, ed egli è noto che l'acqua saturata di sale non può consolidarsi che a — 15°.

Il freddo delle regioni polari è ligato essenzialmente all'estensione ed alla profondità delle acque. Se per esempio si concepisce un mare libero e profondo senza isole nè fondi grandi, che occupi tutto il circuito de'cerchi polari e comunichi per vie larghe co'mari, chiaro è che le correnti superiori ed inferiori tenderebbero più efficacemente a mantener l'equilibrio di temperatura. Ma, se nel mezzo di questo vasto mare si concepiscano delle terre ferme o solo de'grandi fondi, il raffreddamento prodotto dal raggiamento in tutta la lunga assenza del sole diventa per necessità intensissimo, dappoichè succede in una superficie solida, che non si rinnova; l'aria si raffredda a sua volta sopra questi piani gelati, e così si producono que' rigidi freddi che regnano nel polo boreale.

Il notevole viaggio del capitano Weddel verso il polo australe sembra annunziare che il mare in quelle regioni sia molto più vasto e profondo che nelle boreali, e che pur la temperatura siavi molto più dolce. Non appena oltrepassata la latitudine delle nuove Orcadi e delle nuove Schetland, che formano una barriera di ghiaccio, si giunge in un mare libero che sembra estendersi fino al polo. Bentosto novelli viaggi ci forniranno di altri dati sulla temperatura di tali climi, e la teorica della distribuzion del calore ne riceverà senza dubbio perfezionamenti grandissimi.

515. *Dell' equilibrio di temperatura della terra.* — Dopo avere esposto i principali risultamenti dell'esperienze sulla temperatura del globo terrestre e dell'atmosfera che l'inviluppa; ci rimane ad indicare, per quanto possiamo farlo in questa Opera, le principali cagioni, che concorrono a mantenere in tutta l'estensione terrestre la distribuzion del calore e l'ordine delle temperature che vi si osservano.

Immaginiamo un momento che la terra, sospesa, come lo è, nel mezzo degli spazi celesti, non sia più riscaldata dai raggi solari nè da verun altro raggio calorifico, e teniamo dietro a' fenomeni che ne risulterebbero.

Tutte le molecole dell' aria atmosferica dotate del potere emissivo come le altre molecole materiali, raggerebbero il lor calore in tutt' i versi, e sempreppiù si raffredderebbero, non essendo le perdite loro punto riparate; aumentando la lor densità, esse cadrebbero verso la terra, mentre altre molecole ascenderebbero per andare a raffreddarsi a lor volta; e supponendo che la superficie della terra non possa divider con esse il calore che le rimane; chiaro è che dopo un tempo più o meno lungo tutti gli strati dell'atmosfera sarebbero giunti ad un grado di raffreddamento, di cui non abbiamo idea.

Un fenomeno consimile si produrrebbe sopra la terra: gli strati della superficie raggerebbero attraverso dell' atmosfera; raffreddati prontamente da queste perdite non compensate, riceverebbero dagl' interni strati calore, e questo calor ricevuto incontanente si perderebbe per la medesima via. In tal guisa dopo alcun tempo o anzi dopo alcuni secoli tutto quanto il calore del globo terrestre, tanto il calor centrale e primitivo che il superficiale e mantenuto dal sole, si troverrebbe dissipato nello spazio; ma questo dissipamento sarebbe ne'vari paesi più o meno celere, secondo che la superficie del suolo sarebbe più o meno raggiante, e più o meno perfetta la conduttibilità degli strati interni.

Quel che accade, supponendo che l'atmosfera e la terra non possano dividere il lor calore, seguirebbe del

pari ristabilendo questa proprietà di comunicazione, la quale non si può tor di mezzo se non per ipotesi: dappoichè l'aria bene potrà riscaldare il suolo od il suolo l'aria; ma in conchiusione non ne sarà perduto meno il calor totale negli spazi celesti.

Così ogni cosa in terra giungerebbe al *freddo assoluto*.

Ora stabiliamo le cose quali esse sono: ancor per un poco sopprimiamo i raggi solari che giungono alla terra; e consideriamo gl'innumerevoli astri che occupano le diverse regioni del cielo. Tutto ci mena a credere che questi astri tanto abbaglianti di luce non siano sprovveduti di calore; dunque probabilmente esiste negli spazi celesti una temperatura media, ed il globo terrestre sospeso nel mezzo di questi spazi con l'atmosfera per inviluppo diatermano, cesserebbe di raffreddarsi, quando sarebbe equilibrato, conforme al teorema da noi dimostrato dianzi.

Sicchè, fatta astrazione dal calore solare, il globo terrestre sarebbe mantenuto ad un certo gradò di calore, che senz'alcun dubbio ha una grande influenza sulla temperatura de' diversi climi, e particolarmente in quella de' poli. Stabilito questo primo punto è cosa chiara che l'azione calorifica del sole si fa sentire a sua volta con la sua intermissione del dì e della notte e con le sue variazioni d'intensità, che cangiano dall'equatore al polo secondo i periodi delle stagioni. Sicchè l'ordine ed il valore delle temperature terrestri sono l'effetto composto di due cagioni senza posa operanti: il calor dello spazio ch'è quasi uniforme intorno intorno alla terra, ed il calor del sole che ogni momento cangia. Determinar la potenza di ciascuna di queste cagioni; ecco la quistione fondamentale che la Scienza ci dee proporre. E prima di dar qui un'idea degli esperimenti da me fatti per sciogliere tal quistione, è necessario d'indicare ancora gli effetti del raggiamento notturno, la scoperta del quale devesi al Sig. Wells.

Dopo il tramonto del sole, quanto l'aria è calma e sereno il cielo, tutta la superficie del suolo e l'atmosfera si raffreddano mercè il raggiamento loro verso lo

spazio, il cui calore non è bastante a mantenerli alla temperatura da essi acquistata; nel tempo stesso i corpi solidi si raffreddano più dell'aria, dappoichè hanno maggior potere emissivo, ed il Sig. Wells ha comprovato che giungono eziandio con moltissima prontezza ad una temperatura che può essere 8, 10 ovvero 12° più bassa della temperatura dell'aria; ma la cagione stessa di tale abbassamento mostra ch' esso è variabile da un corpo all'altro, e ch'è al *maximum* pe'corpi, che hanno il maggior potere emissivo e la minore conduttibilità, posto che siano disposti in modo da vedere la più vasta estensione di cielo.

La presenza delle nubi impedisce questo effetto, od almeno oltremodo l'attenua, conciossiachè il ricambio allora segua fra i corpi terrestri e le nubi, la cui temperatura è molto più elevata della temperatura dello spazio.

Parimente lo impedisce il vento, dappoichè i corpi raffreddati dal raggiamento sono riscaldati dal contatto dell'aria, che senza posa si rinnovella.

In tal modo dal tramontar del sole insino al suo levarsi, essendo favorevoli le circostanze (aria calma, cielo sereno), generalmente tutt'i corpi della terra stanno a temperature più basse dell'aria: per alcuni la differenza è piccolissima; per altri può giungere a 10 in 12°; il che dipende dal potere emissivo, dalla conduttibilità, dall'estensione di cielo che può il corpo scorgere, e dalla facilità onde l'aria può rinnovarsi nella sua superficie.

Questi sono gli effetti del raggiamento notturno, che ci serviranno a spiegare nel seguente capitolo i fenomeni della rugiada, della brina e della gelata; ma essi ci serviranno eziandio nelle due importanti quistioni, di cui ci dobbiamo anche occupare, cioè: la determinazione del calor solare, e della temperatura dello spazio. Nondimeno io mi dolgo di non poter trattare siffatte quistioni con tutto lo sviluppo che meritano; a mala pena concedendomi la disposizione di quest'Opera lo indicare i punti essenziali; e trovomi costretto di rinvia-

re il Lettore alla mia Memoria ed all' Estratto di essa pubblicato ne'Conti-Renduti dell'Accademia delle Scienze (luglio 1838).

Quantità di calore dato dal sole. — Io mi sono sforzato di determinare la quantità di calore solare per mezzo di due diversi apparecchi, il *pireliometro diretto* ed il *pireliometro a lente*.

Il pireliometro diretto è rappresentato nella figura 375.

Il vaso *v* è sottilissimo, di argento o di sfoglia di argento; esso ha un decimetro di diametro, e 14 in 15 millimetri di altezza; e contiene 100 grammi circa di acqua. Il turacciolo, che fissa il termometro al vaso, si adatta ad un tubo metallico, ch'è portato verso i suoi estremi da due collaretti, *c*, *c'* dove liberamente si move; di modo che volgendo il bottone *b* tutto quanto l'apparecchio gira intorno all'asse del termometro, e l'acqua del vaso è incessantemente agitata, perchè la temperatura sia bene uniforme in tutta la sua massa. Il cerchio *d*, che riceve l'ombra del vaso, serve ad orientar l'apparecchio. La superficie del vaso, che riceve l'azione solare, è accuratamente annerita con negro fumo.

L'esperienza si fa in questo modo: essendo l'acqua del vaso quasi alla temperatura ambiente, il pireliometro si tiene all'ombra, ma vicinissimo al luogo dove dee ricevere il sole; si alloga in modo che vegga la stessa estensione di cielo, e colà per quattro minuti di minuto in minuto si notano il suo riscaldamento od il suo raffreddamento; durante il secondo minuto, si colloca dietro ad un tramezzo, e si orienta per modo che, togliendo il tramezzo nella fine di tal minuto, che sarà il quinto, i raggi solari perpendicolarmente lo tocchino. Allora durante i cinque minuti sotto l'azione del sole notasene di minuto in minuto il riscaldamento che diventa rapidissimo, e si ha cura di mantener l'acqua senza posa in agitamento; alla fine del quinto minuto si ripone il tramezzo, si ritira l'apparecchio nella pristina positura, ed anche per cinque minuti se ne osserva il raffreddamento.

*

Sia g il riscaldamento, che ha provato ne' cinque minuti dell'azione solare, r ed r' i raffreddamenti, che ha provato ne' cinque minuti precedenti cotal azione e ne' cinque minuti susseguenti; facil cosa è il vedere che l'elevazione di temperatura t prodotta dal calore del sole è:

$$t = g + \frac{(r + r')}{2}.$$

Sia d il diametro del vaso espresso in centimetri; p il peso dell'acqua che contiene espresso in grammi; p' il peso dello stesso vaso e della parte del termometro immersa, essendo questo peso ridotto a quel che sarebbe per un calore specifico eguale all'unità: ei si vede che l'elevazione di temperatura osservata t corrisponde ad una quantità di calore

$$t(p + p').$$

Essendo questo calore caduto in cinque minuti su di una superficie $\frac{\pi d^2}{4}$, ogni unità di superficie ha ricevuto $\frac{4(p + p')}{\pi d^2} t$ durante i cinque minuti, e

$$\frac{4(p + p')}{5 \pi d^2} t \text{ durante } 1'.$$

Per l'apparecchio mio questa quantità di calore ricevuto in un minuto da ciascun centimetro quadrato è: $0,2624\, t$.

Il pirheliometro a lente (*fig. 376*) si compone di una lente l del diametro di 24 a 25 centimetri, di una distanza focale di 60 a 70 centimetri, nel cui foco trovasi un vaso di argento o incrostato di argento a contenente circa 600 grammi di acqua; la forma del vaso e la disposizione della lente sono combinate per modo, che in tutte le altezze del sole i raggi cadono perpendicolarmente sulla lente e sulla faccia del vaso destinato a riceverli nel foco e ad assorbirli.

L'esperienze si fanno come col precedente apparecchio e le quantità di calore, che cadono in un minuto sopra ciascun centimetro quadrato, si determinano con una forma analoga; se non che havvi di più un'altra correzione da fare per la quantità di calore che assorbe la lente, e questa si fa col paragone de' risultamenti ottenuti mercè la lente e l'apparecchio diretto. Tra le lenti da me provate la meno assorbente pure assorbiva $\frac{1}{8}$ del calore incidente.

Rendesi necessario di adoperare il pireliometro a lente, quando gli esperimenti non possono farsi in un'aria calma; il vento, quando non è forte, ha poca influenza per raffreddare in cinque minuti una massa di acqua di più di 600 grammi, che non è innalzata più di 4 ovvero 5 gradi al di sopra della temperatura ambiente, di modo che la correzione sempre rimane assai piccola.

La seguente tavola contiene cinque serie di esperimenti, che daranno un' idea bastante del cammino del pireliometro diretto. L'elevazioni di temperatura osservate stanno nella terza colonna; più in là indicheremo in qual modo si siano ottenuto i numeri della seconda e della quarta colonna.

ORE dell' osservazione.	SPESSEZZE atmosferiche ovvero s.	ELEVAZIONI di temperatura osservate.	ELEVAZIONI di temperatura calcolate.	DIFFERENZE.
		Osservazione de' 28 giugno 1837.		
7 or. 30' m.	1.860	3°80	3°69	+ 0.11
10 or. 30' m.	1.164	4.00	4.62	— 0.62
Mezzodì. . .	1.107	4.70	4.70	0.
1 or. . . .	1.132	4.65	4.67	— 0.02
2	1.216	4.60	4.54	+ 0.06
3	1.370	»	4.32	»
4	1.648	4.00	3.95	+ 0.05
5	2.151	»	3.36	»
6	3.165	2.40	2.42	— 0.02

ORE dell' osservazione.	SPESSEZZE atmosferiche ovvero s.	ELEVAZIONI di temperatura osservate.	ELEVAZIONI di temperatura calcolate.	DIFFERENZE.
Osservazioni de' 27 luglio 1837.				
Mezzodì . . .	1.147	4.90	4.90	0.
1 or. . . .	1.174	4.85	4.86	— 0.01
2	1.266	4.75	4.74	+ 0.01
3	1.444	4.50	4.51	— 0.01
4	1.764	4.10	4.13	— 0.03
5	2.174	3.50	3.49	+ 0.01
6	3.702	3.35	3.42	— 0.07
Osservazioni de' 22 settembre 1837.				
Mezzodì . . .	1.507	4.60	4.60	0.
1 or. . . .	1.559	4.50	4.54	— 0.04
2	1.723	4.30	4.36	— 0.06
3	2.102	4.00	3.97	+ 0.03
4	2.898	3.10	3.24	— 0.14
5	4.992	»	1.91	»
Osservazioni de' 4 maggio 1838.				
Mezzodì . . .	1.191	4.80	4.80	0.
1 or. . . .	1.223	4.70	4.76	— 0.06
2	1.325	4.60	4.62	— 0.02
3	1.529	4.30	4.36	— 0.06
4	1.912	3.90	3.92	— 0.02
5	2.603	3.20	3.22	— 0.02
6	4.311	1.95	1.94	+ 0.01
Osservazioni de' 11 maggio 1838.				
11 or. . . .	1.193	5.05	5.06	— 0.01
12	1.164	5.10	5.10	0.
1	1.193	5.05	5.06	— 0.01
2	1.288	4.85	4.95	— 0.10
3	1.473	4.70	4.73	— 0.03
4	1.812	4.20	4.37	— 0.17
5	2.465	3.65	3.67	— 0.02
6	3.943	2.70	2.64	+ 0.06

Dopo avere per molti anni ottenuti un numero abbastanza grande di serie analoghe alle precedenti, io ho tentato di rinvenire una legge, che potesse esattissimamente rappresentare tutt' i risultamenti delle osservazioni. Il perchè prima di ogni altro io ho calcolato le doppiezze atmosferiche, che i raggi solari dovevano at-

traversare in ciascuna esperienza; queste doppiezze, sono date dalla formola

$$s = \sqrt{2rh + h^2 + r^2 \cos.^2 z} - r \cos. z;$$

r è il raggio medio della terra, h l'altezza dell'atmosfera, z la distanza zenitale del sole, ed ho adottato

$$h = 1, r = 80.$$

Quanto alla distanza zenitale z, invece di determinarla ogni volta con l'osservazione dell'altezza del sole, ho preferito di prendere l'ora precisa della metà dell'esperimento e dedurre il valore di z dalla formola

$$\cos z = \text{sen } v \text{ sen } d + \cos v \cos d \cos y.$$

v è la latitudine del luogo dove si fa l'osservazione, d la declinazione del sole a mezzodì, y l'angolo orario del sole corrispondente all'ora dell'esperienza.

E col mezzo di queste due formole sono state da me calcolate le doppiezze atmosferiche riferite nella seconda colonna della tavola precedente.

Paragonando gl'innalzamenti di temperatura osservati col pireliometro e le corrispondenti doppiezze atmosferiche, ho scorto che i risultamenti si potevan benissimo rappresentare con la formola

$$t = a p^s,$$

essendo a e p due costanti. Dippiù determinando queste due costanti con due osservazioni di ciascuna serie, si ricade sempre sullo stesso valore di a per tutte le serie e su' valori di p molto diversi passando da una serie ad un'altra. Sicchè a è una costante fissa indipendente dallo stato dell'atmosfera, e p una costante ch'è fissa sol per lo stesso dì, e varia dall'un dì all'altro, secondo che la serenità del cielo è più o meno perfetta; dunque a

nella formola solare è la *costante solare* o quella, che contiene com' essenziale elemento la potenza calorifica costante del sole: nel mentre che p è la *costante atmosferica* o quella, che com' essenziale elemento contiene il poter di trasmissione variabile, di cui trovasi l' atmosfera dotata per far giungere fino alla superficie della terra più o meno grandi proporzioni del calor solare incidente.

Gli esperimenti danno per a il valore di 6°, 72; e per p i valori compresi nella seguente tavola:

Date delle serie.	Valori di p.	Valori di $1 - p$.
28 giugno	0, 7244.	0, 2756
27 luglio	0, 7585.	0, 2415
22 settembre	0, 7780.	0, 2220
4 maggio	0, 7556.	0, 2444
11 maggio	0, 7888.	0, 2112
Solstizio d' inverno	0, 7488.	0, 2512

È col mezzo di questi valori di a e di p, e della formola

$$t = a\,p^{s},$$

sonosi da me calcolati i risultamenti contenuti nella quarta colonna della tavola precedente; ei vedesi con qual esattezza si trovano così riprodotti tutt' i numeri dati dall' osservazione, anche quando l' osservazione corrisponde a doppiezze atmosferiche, che siano quadruple per l' effetto dell' obbliquità. Così nell' esperienza del 4 maggio i raggi solari dovevano attraversare una doppiezza atmosferica di 24 leghe a mezzogiorno; e di 86 leghe sei ore dopo; e non pertanto il numero calcolato trovasi ancora perfettamente di accordo col numero osservato. Pur non di meno si comprende, che solo quando il tempo è ben fisso e stabilito può la formola applicarsi con esattezza ad un' intera giornata con lo stesso valore di p: se sopravvengono de' cangiamenti improvvisi nello stato dell' atmosfera, incontanente i valori di p pro-

vano un'alterazione più o meno grande. Del che ho potuto rendermi certo con un gran numero di esperienze corrispondenti a tutte le stagioni dell'anno. Si può anche presumere che in certi luoghi, soprattutto ne' paesi montuosi e presso alle rive del mare, i valori di p soffrono ciascun di variazioni periodiche, cosrispondenti alla diffusione ed al condensamento de' vapori.

Se nella precedente formola si suppone $p = 1$, ovvero $s = 0$, ei trovasi.

$$t = 6^\circ, 72;$$

cioè il pireliometro acquisterebbe un'elevazione di 6°, 72; se l'atmosfera potesse tal quale trasmettere tutto quanto il calore solare senza niente assorbirne, o se l'apparecchio potesse venir trasportato ne' limiti dell'atmosfera per colà ricevere senza niuna perdita tutto il calore che il sole ci manda. Questo valore di t moltiplicato per 0, 2624 dà:

$$1, 7633.$$

Questa è dunque la quantità di calore che il sole dà in un minuto sopra un centimetro quadrato ne' limiti dell'atmosfera, e che parimente darebbe nella superficie della terra, se l'aria atmosferica nessuno de' raggi incidenti assorbisse.

I precedenti valori di p indicano le proporzioni di calor solare, che sono state trasmesse ne' diversi giorni a cui corrispondono, ed i valori di $1 - p$ al contrario indicano le diverse proporzioni di calor solare che sono state assorbite nelle stesse epoche. Purtuttavia questi valori corrispondono ad $s = 1$, indicano cioè le proporzioni di calor solare, che sarebbero state trasmesse ed assorbite ne' luoghi, che avevano il sole nel zenit; supponendovi nel momento dell'esperienza lo stesso stato atmosferico di Parigi. Dal che risulta che l'atmosfera nel tragitto verticale assorbe almeno i $\frac{21}{100}$ del calore incidente ed al sommo i $\frac{27}{100}$, senza che il cielo cessi di es-

sere sereno; nondimeno debbo aggiungere che il 28 giugno, a cui corrisponde l'assorbimento di $\frac{21}{100}$ si discerneva nella volta del cielo un leggero velo bianco. Da un'altro lato altre osservazioni, per le quali le serie non hanno potuto esser compiute, non mi hanno manifestato, se non un assorbimento di $\frac{18}{100}$. Sicchè può dirsi che l'assorbimento atmosferico è compreso fra 18 e 24 in 25 centesimi, senza che sia possibile discernere nel cielo vapori, che ne turbino la trasparenza.

Con questo dato e con la legge seguente, che diminuisce il calore trasmesso, siccome cresce l'obbliquità, si può calcolare la proporzione di calore incidente, che ogn'istante giunge sull'emisfero rischiarato della terra, e quella che trovasi assorbita nella corrispondente metà dell'atmosfera. Ed il calcolo mostra che per $p = 0,75$ la proporzione, che giunge al suolo, rimane compresa tra 0,5 e 0,6; e quindi la proporzione assorbita dall'atmosfera trovasi anch'essa compresa tra 0,5 e 0,4; ma vicinissima a 0,4.

Sicchè, quando l'atmosfera ha tutte le apparenze di una perfetta serenità, assorbe ancora quasi il mezzo della total quantità di calore, che il sole tramanda verso la terra, e solo l'altra metà di questo calore va a cadere sulla superficie del suolo, e vi si trova diversamente ripartita, secondo che ha traversato l'atmosfera con obbliquità più o meno grandi.

Conoscendo la quantità di calore che il sole manda in un minuto alla terra, mercè la sua azione perpendicolare su di un centimetro quadrato, facil cosa è il determinare la quantità totale di calore, che l'intero globo terrestre e l'atmosfera ciascun minuto ricevono. In fatti questa quantità di calore è quella, che cadrebbe sul cerchio d'illuminazione, se l'emisfero della terra, ch'è ad un tempo rischiarato e riscaldato dal sole, si trovasse tolto di mezzo. Ora la superficie di questo cerchio d'illuminazione essendo πr^2, la quantità totale di calore che riceve è

$$1,7633 . \pi r^2.$$

E se questo calore fosse uniformemente ripartito in tutt'i punti della terra, ogni centimetro quadrato non riceverebbe dal canto suo se non

$$\frac{1,7633.\pi r^2}{4\pi r^2} \text{ ovvero } 0,4408.$$

Dietro di che facile riesce il vedere che nello spazio di un anno tutta la quantità di calore ricevuta dalla terra per parte del sole è la stessa, che se in questo intervallo per ciascun centimetro quadrato della superficie, che limita l'atmosfera n'entrasse

231675 unità.

Trasformando questa quantità di calore in quantità di ghiaccio fuso si giunge a questo risultamento:

Se la quantità totale di calore, che la terra nello spazio di un anno riceve dal sole, fosse uniformemente partita in tutt'i punti del globo, e fossevi senza niuna perdita adoperata tutta in isciogliere ghiaccio, la sarebbe bastante di liquefare uno strato di ghiaccio, che inviluppasse tutta quanta la terra, e che avesse una doppiezza di

$30^m, 89,$

o quasi 31 metri. E questa è la più semplice espressione della total quantità di calore, che la terra ogni anno riceve dal sole.

Lo stesso dato fondamentale ci permette di sciogliere un'altra quistione, che parrà forse più ardita, e la cui soluzione è nondimeno semplicissima: essa ci permette di rinvenire la total quantità di calore, che sfugge dall'intero globo del sole in un tempo determinato, senza supporre altro, se non che tutte le porzioni eguali del globo del sole tramandano eguali quantità di calore; il che pare finora confermato dall'esperienza, dappoichè i vari aspetti che per l'effetto del suo roteamento il sole ci mostra, non sembrano avere niuna segnalata influenza sulle temperature terrestri.

Consideriamo il centro del sole come il centro di un circuito sferico, il cui raggio sia uguale alla distanza media dalla terra al sole: chiaro è che ogni centimetro quadrato riceve su questo vasto circuito in un minuto precisamente tanto calore dal sole quanto il centimetro quadrato della terra, cioè 1, 7633; in conseguenza tutta la quantità di calore, che riceve, è uguale all'intera sua superficie, espressa in centimetri e moltiplicata per 1, 7633, ovvero a

$$1,7633.\ 4\pi d^2$$

Questo calore incidente altro non è che la somma totale delle quantità di calore tramandate in tutte le direzioni da tutto quanto il globo del sole, cioè da una superficie $4\pi r^2$, essendo r il raggio del sole. Sicchè ogni centimetro quadrato per parte sua tramanda:

$$1,7633.\ \frac{d^2}{r^2} \text{ ovvero } \frac{1,7633}{\text{sen.}^2\,\omega},$$

essendo ω il semi-angolo visuale, sotto cui la terra vede il sole, cioè 15' 40"; il che dà 84888. Sicchè ogni centimetro quadrato della superficie solare in un minuto tramanda

84888 unità di calore.

Trasformando questo calore in quantità di ghiaccio fuso, si giunge a questo risultamento:

Se la quantità totale di calore tramandata dal sole fosse unicamente adoperata a sciogliere uno strato di ghiaccio, che fosse applicato sul globo del sole, e da tutte parti l'inviluppasse, questa quantità di calore sarebbe bastante di sciogliere in un minuto uno strato 11^m, 80 doppio, ed in un giorno uno strato di $16,992^m$ ovvero 4 leghe $\frac{1}{4}$.

Questa determinazione non sta come si è potuto scorgere su qualche ipotesi; essa è indipendente dalla natura propria del sole, della materia, che lo compone,

del suo potere raggiante, della sua temperatura e del suo calore specifico; essa è soltanto l'immediata conseguenza de' princìpi meglio stabiliti rispetto al calor raggiante, ed al numero a cui siamo giunti con l'esperienza.

Temperatura dello spazio. — Un termometro esposto sul suolo al raggiamento notturno riceve calore da due sorgenti diverse, da parte dello spazio e da parte dell'atmosfera. Essendo il calor dello spazio sottoposto all'assorbimento, come il calor del sole durante il suo cammino atmosferico, generalmente solo i $\frac{3}{10}$ o i $\frac{4}{10}$ possono pervenire al termometro: supponendo almeno che gli esperimenti non siano stati fatti nelle alte montagne. Quanto al calore tramandato dall'atmosfera medesimo nello spazio della notte, esso è l'effetto del raggiamento particolare di tutti gli strati concentrici che possono concepirsi dal livello del mare fino a' limiti dell'atmosfera, e per conseguenza dipende dalla distribuzione delle temperature in tutta l'altezza della colonna atmosferica; e noi possiamo aggiungere che la sua influenza è molto più considerevole di quanto siasi finora creduto. Del rimanente qualunque sia la corrispondenza delle intensità di queste due cagioni, manifesta cosa è che si possa concepire una causa unica bastante di produrre un effetto eguale a quello, che risulta dalla loro azione contemporanea; o con altre parole si può col pensiero sopprimere il calor dello spazio e quello dell'atmosfera, e concepire un circuito di un maximum potere emissivo, la cui temperatura sia tale, che mandi precisamente tanto calore al termometro ed al suolo, quanto ne ricevevono ad un tempo dall'atmosfera e dallo spazio: ed è la temperatura ignota di questo *circuito zenitale*, che da me *temperatura zenitale* vien detta.

Questa maniera di concepire i fenomeni non ha per oggetto di rappresentare le azioni particolari ed ineguali forse, che prova il termometro nella tale e tal altra direzione, ma solo di rappresentare con esattezza l'azione diffinitiva e totale a cui è sottoposta, di modo che il suo abbassamento al di sotto della temperatura ambiente trovasi col circuito zenitale lo stesso che con-

l'atmosfera e lo spazio congiunti. E sotto questa condizione noi possiamo dare al circuito zenitale una temperatura uniforme in tutte le parti della sua estensione. Da ultimo è chiaro che la temperatura zenitale è necessariamente mutabile ad ogn'istante per lo stesso punto della superficie terrestre, e con più forte ragione variabile da un punto all'altro, dappoichè si compone di un elemento fisso ch'è la temperatura dello spazio, e di un elemento incessantemente mutabile, ch'è la temperatura de' vari strati atmosferici.

Ora ecco in che modo è possibile di osservare la temperatura zenitale ad ogni momento della notte, quasi come si osserva la temperatura dell'aria.

Il mio apparecchio, che chiamo *actinometro*, è rappresentato nella figura 377: si compone di quattro anelli del diametro di due decimetri forniti di peluria di cigno, che stanno l'uno sull'altro, perchè la peluria non possa provare compressione; anche la pelle di cigno forma il fondo del cerchio di ciascun di questi anelli. Il sistema è chiuso in un primo cilindro di sfoglia di argento *c* inviluppato eziandio di pelle di cigno e contenuto in un cilindro più grande *c'*. Un termometro sta nel centro della peluria superiore; l'orlo *d* ha tale altezza, che il termometro non possa vedere se non i due terzi dell'emisfero del cielo; quest'orlo è forato di pertugi a livello della peluria, perchè l'aria fredda regolarmente scorra.

Siffatto apparecchio la notte viene esposto al raggiamento del cielo, e di ora in ora si osserva il suo termometro, ed un termometro vicino liberamente sospeso in aria ad un mezzo metro sopra del suolo: dalla differenza di queste temperature o dall'abbassamento dell'actinometro si deduce la temperatura zenitale; ma ei bisogna per questo che l'apparecchio sia stato sottoposto alla gradazione, che or ora indicheremo.

Se l'actinometro avesse una superficie indefinita e stasse nel voto, sotto un circuito emisferico mantenuto ad una temperatura costante, manifestamente la temperatura del circuito prenderebbe: al contrario con la sua

forma reale, vedendo sol due terzi dell'emisfero ed inviluppato di uno strato di aria, che lo riscalda, dee rimanere sempre ad una temperatura più elevata di quella del circuito. La gradazione ha lo scopo di determinare quanto si è riscaldata, in guisa che basta conoscere la sua temperatura e quella dell'aria ambiente per dedurne la temperatura del circuito, con la quale ricambia il calor raggiante. In fatti si concepisce debb'esistere una corrispondenza semplice fra la temperatura del circuito e l'abbassamento dell'actinometro. Per discoprir la quale io ho composto un cielo artefatto con un vaso di zinco, di un metro di diametro, sostenuto da tre sottili colonne a due metri di altezza; questo vaso il cui fondo è annerito, è stato ripieno di un miscuglio refrigerante a — 20° e l'actinometro è stato posto verticalmente al di sotto a distanze tali che il termometro centrale ne vedesse di mano in mano dell'estensioni corrispondenti ad $\frac{1}{4}$ di emisfero, $\frac{1}{2}$ di emisfero e $\frac{3}{4}$ di emisfero; in ogni posizione si è aspettato l'equilibrio di temperatura e notato nel tempo stesso la temperatura dell'aria ambiente e quella dell'apparecchio. Analoghi esperimenti ripetuti alla temperatura del ghiaccio che si liquefà e ad altre temperature intermedie mi hanno condotto a questo risultamento: se dalla temperatura ambiente si diffalcano i $\frac{9}{4}$ dell'abbassamento dell'actinometro, sempre trovasi la temperatura del cielo artifiziale. E questo si applica manifestamente alla volta celeste o piuttosto al circuito zenitale; quindi, se nella notte si osserva la temperatura t dell'aria ambiente e l'abbassamento d dell'actinometro, se ne dedurrà la temperatura zenitale dalla formola

$$z = t - 9\,\frac{d}{4},$$

ch'è il risultamento della gradazione.

La tavola, che siegue, contiene i risultamenti di alcune dell'esperienze.

Tavola delle temperature medie dell'atmosfera, che corrispondono alle osservazioni dell'actinometro fatte nel mese di aprile, di maggio e di giugno.

GIORNO	ORA.	TEMPERATURE dell'aria.	TEMPERATURE dell'actinometro.	DIFFERENZE.	TEMPERATURE zenitale	TEMPERATURE media dell'atmosfera.
			Da 10 a 11 aprile.			
10 aprile	7 or. sera	10.2	3.9	6.3	— 4.0	—23.5
	8	9.9	3.0	6.9	— 5 6	—25.5
	9	9.6	2.2	7.4	— 7.0	—27.0
	10	9.0	1.8	7.2	— 7.2	—27.5
11 . . .	5 mat.	5.0	—3.0	8.0	—13.0	—35
	5.30'	5.0	—3.0	8.0	—13.0	—35
	6	5.5	—2.3	7.8	—12.0	—34
			Da 14 a 15 aprile			
14 aprile	7 o. sera	8.5	0.8	7.7	— 6.0	—26
	8	7.0	—0.5	7.5	— 9.9	—30.0
	9	5 8	—1.6	7.4	—10.8	—32
	10	5.0	—2.4	7.4	—11.6	—33.5
15 . . .	4.30' mat.	1.0	—6.0	7.0	—14.7	—37.5
	5	1.0	—6.0	7.0	—14.7	—37.5
	6	1.6	—5.2	6.8	—13.7	—36.0
			Da 20 a 21 aprile			
20 aprile	8 o. sera	5.6	—0.8	6.4	— 8.8	—29.5
	9	4.5	—2.0	6.5	—10.1	—31.5
	10	3.6	—3.0	6.6	—11.7	—33.5
21 . . .	4.30' mat.	0.0	—7.0	7.0	—15.7	—38.5
	5	0.0	—7.0	7.0	—15.7	—38.5
	5.30'	0.1	—6.5	6.6	—14.5	—37.0
			Da 5 a 6 maggio			
5 mag.	5 o. sera	25.50	19.9	5.6	+ 12.9	— 2.0
	6	25.10	17.5	7.6	8.0	— 8.0
	7	23.10	15.0	8.1	4.9	—12.0
	8	22. 9	13.9	9.0	2.6	—15.0
	9	21. 5	12.5	9.0	1.4	—16.5
	10	17. 5	10	7.5	0.6	—17.5
6 . . .	4 mat.	12. 1	5	7.1	— 3.9	—23.5
	4.30'	12. 1	5	7.1	— 3.9	—23.5
	5	12.	6	6.0	— 1.5	—20.0
			Da 23 a 24 giugno			
23 giugno	7 o. sera	20. 0	12.0	8.0	+ 2.0	—16.0
	8	17. 8	10.5	7.3	1.4	—16.5
	9	17. 6	10.7	6.9	»	»
	10	16. 3	9.2	7.1	0.3	—18.0
24 . . .	4 mat.	11. 3	5.3	6.0	— 2.2	—21.0
	4.30'	11. 5	5.6	5.9	— 1.8	—20.5

Questi esperimenti confermano che la temperatura zenitale si abbassa nella notte, quasi come la temperatura dell'aria ambiente; questo abbassamento progressivo dal tramonto del sole fino al suo levarsi è un fatto essenziale, che immediatamente conduce ad una conseguenza importante.

In fatti la temperatura zenitale si trova composta di due termini che si aggiungono: l'uno dipendente dalla temperatura media t'' della colonna atmosferica ch'è variabile; e l'altro dipendente dalla temperratura t' dello spazio ch'è costante; dappoichè si può dimostrare che queste 3 temperature z, t'' e t' sono tra loro ligate dalla correlazione $a^z = ba^{t''} + (1 - b')\, a^{t'}$; essendo a la costante del raggiamento 1, 0077, b il potere assorbente che l'atmosfera esercita mercè il calore terrestre, e b' quello ch'esercita sul calor dello spazio. Ora, poichè la temperatura zenitale prova in una sola notte considerevoli variazioni, ciò prova manifestamente che il termine fisso ch'entra nella sua espressione ha solo un piccolissimo valore rispetto al termine variabile, e per conseguenza che nel raggiamento notturno il calor dello spazio è picciolissimo rispetto al calore, che dal raggiamento dell'atmosfera procede.

La qual conseguenza non si può affatto conciliare con le opinioni, che allo spazio attribuiscono una temperatura, il cui valore non sarebbe al di sotto di zero abbassato di un grandissimo numero di gradi; ma bene si concilia perfettamente co' fatti noti, i quali avrebbero potuto già fornire indicazioni in tal senso, se nella totalità loro ne fosse stata fatta l'analisi con tutta l'attenzione, che meritano. I numerosi risultamenti del Sig. Wells, del Sig. Daniell e di tutti gli altri fisici, che han fatto esperienze sul raggiamento notturno, non provano solo che un termometro esposto sul terreno durante la notte, in un sito scoperto, si raffreddi di 6, 7 od anche 8° sotto la temperatura ambiente; ma provano eziandio che questo fenomeno si riproduce quasi con la medesima intensità ne' più freddi mesi dell'anno, cioè in gennaio, in febbraio, quando la temperatura dell'aria è caduta

parecchi gradi sotto zero. Così Wilson ha osservato una differenza di quasi 9° fra la temperatura dell'aria e quelli della superficie della neve; Scoresby ed il capitano Parry hanno osservato consimili abbassamenti nelle regioni polari, quando la temperatura dell'aria era più di 20° sotto zero.

Se ora si considera che il poter riscaldante esercitato dallo strato dell'aria mercè il suo contatto sul termometro del suolo, che di essa è più freddo, è quasi lo stesso, o trovisi 10° sopra zero o 10° sotto; ci ne risulta che il poter raffreddante, che mantiene questo termometro a — 18° nel secondo caso, ha pure la stessa energia del poter raffreddante, che mantiene a + 2° nel primo caso; e siccome questo poter raffreddante dipende dalla temperatura dello spazio, ne risulta eziandio che la temperatura dello spazio è molto inferiore a — 18°; che se fosse solamente di — 30° ovvero di — 40°; il termometro che sta a — 18°, mentre l'aria sta a — 10°, già troppo vicino sarebbe; perchè il calor dello spazio lo potesse mantenere al di sotto dell'aria nello stesso abbassamento del termometro, che sta a + 2°, mentre l'aria sta a — 10°. Quel che ha forse impedito che questo ravvicinamento seguisse, è che generalmente nelle spiegazioni date del raggiamento notturno, agli strati superiori dell'atmosfera, che si sapevan freddissimi, s'è attribuita una particolare potenza raffreddante; dimenticando in certo modo che freddi come sono, mandano nondimeno calore, e che questo calore si aggiunge a quel dello spazio per aumentarne gli effetti.

Adunque i risultamenti da me ottenuti con l'*actinometro* si trovano con la totalità de' fatti noti concordi; forse rendevasi necessario il notarlo, per mostrare che se le conseguenze, a cui giungeremo, in alcuni punti contrarie alle ricevute opinioni ciò dipende dalla natura delle cose, anzichè dalla poca esattezza delle sperienze.

Altre considerazioni ed altri calcoli dimostrano che la temperatura t' dello spazio si trova ligata alle costanti b e b' per la correlazione.

$$a^{t'} = 1,235 \frac{2-b}{2-b'} - 0,489;$$

e, siccome dalla totalità degli esperimenti solari si ottiene $b' = 0,35$, diffinitivamente si giunge all'equazione

$$a^{t'} = 1,008 - 0,748.\, b,$$

che non contiene più come ignota se non la temperatura dello spazio t' ed il potere assorbente b, che l'atmosfera esercita sul calore terrestre.

Il maggior valore di b dà il limite inferiore della temperatura dello spazio, e poichè b non può esser maggiore di 1, la temperatura dello spazio non può essere inferiore a

$$-175^{\circ}.$$

Per $b' = 0,3$ troverebbesi -187, e per $b' = 0,4$ soltanto -164.

Trovato una volta questo limite inferiore, facil cosa è l'avere il limite superiore ancora, conciossiachè corrisponda al più piccolo valore che si possa attribuire a b; ora gli esperimenti di temperatura zenitale facendo vedere che b è necessariamente maggiore di 0, 8 ne risulta che la temperatura dello spazio è minore di

$$-115^{\circ}.$$

Ora a determinare il numero intermedio compreso fra questi limiti, che rappresenta la vera temperatura dello spazio nel tempo attuale, senza dubbio farà mestieri di moltiplicate sperienze, che a tutte le latitudini si estendano ed a tutte le altezze.

Nondimeno le sole sperienze, che si sono potute fare da me, già permettono di pervenire ad un certo approssimamento; le mi danno.

$$-142^{\circ}$$

*

per la temperatura dello spazio, ed io son lungi di credere che non possa molto questo valore allontanarsi dal vero; esso corrisponde a $b = 0,9$.

Sicchè, come diffinitivo risultamento di siffatte ricerche; si vede che il sole dà alla terra una quantità di calore 1,7633 per minuto e per centimetro quadrato: che l'atmosfera con un cielo sereno assorbe i quattro decimi circa di questo valore e di quel dello spazio; che assorbe i nove decimi del calore tramandato dalla terra, e che la temperatura dello spazio di presente è di 142° sotto zero.

Non si può mai fare troppo osservare l'importanza della parte, che nella totalità de' fenomeni terrestri la disuguaglianza de' poteri assorbenti dell'aria atmosferica vi adopera; e tutte le cure per conseguenza, che si dovranno avere per determinarli con esattezza. Con questo senza niun dubbio si giungerà ad immaginare di altri apparecchi ed altri metodi sperimentali, pel cui mezzo tornerà possibile lo sceverare ad ogni attimo le complicate influenze del raggiamento dello spazio e del raggiamento atmosferico. Se oggidì ci sembra che le diverse regioni del cielo, le quali di mano in mano passano al zenit, mandino eguali quantità di calore; probabilissima cosa è che ciò non dipenda se non dall'imperfezione de' nostri apparecchi: noi scorgiamo tali differenze nella natura, distanza, numero ed aggruppamento degli astri tra le profondità dello spazio, ch'è impossibile ammettere che la porzione del cielo incessantemente mutabile, che si trova al di sopra dell'orizzonte, incessantemente somigli alla porzione che si trova di sotto; ed è quindi impossibile che tutti gli emisferi, che possiamo concepire nella volta celeste, mandino realmente alla terra una medesima quantità di calore. E sopra ogni altro nella zona equatoriale si vuol cercare prima di tutto di valutar queste differenze, dovendo quivi parere senza dubbio maggiori, più regolari, e ad osservare più agevoli.

Ei sembra eziandio necessario d'indicare alcune delle conseguenze più generali, che da queste investigazioni risultano.

Tutta la quantità di calore, che lo spazio manda in un anno alla terra ed all'atmosfera si deduce da quel che precede; e facil cosa è il vedere che questa quantità di calore basterebbe a sciogliere sul globo nostro uno strato di ghiaccio 26 metri doppio. Noi abbiamo veduto che la quantità di calore solare è espressa da uno strato di ghiaccio di 31 metri. Sicchè la terra in conchiusione riceve una quantità di calore rappresentata da uno strato di ghiaccio di 57 metri, ed il calor dello spazio vi concorre per una quantità, ch'è i $\frac{5}{6}$ del calore solare.

Il calor dello spazio è fra i tropici i $\frac{2}{3}$ soltanto del calore solare, conciossiachè questo si trovi rappresentato da uno strato di ghiaccio di 39 metri.

Senza dubbio recherà stupore che lo spazio con la sua temperatura di — 142° sotto zero possa dare alla terra una quantità di calore tanto considerevole, che trovasi quasi uguale al medio calore, che riceviamo dal sole: i quali risultamenti appariscono a prima aspetto in modo contrari all'opinione, che uom si fa o del freddo dello spazio o della potenza del sole, che si sarà forse invogliato di non ammetterli. Nondimeno bisogna osservare che il sole rispetto alla terra occupa solo i 5 millionesimi della volta celeste, e che per conseguenza dee mandare dugentomila volte più calore per produrre lo stesso effetto.

Del rimanente considerando sotto un altro aspetto i fenomeni, si sarà per l'opposito indotto di credere che in cotali valutazioni la potenza del sole si trovi molto esagerata; dappoichè, se invece delle quantità di calore si esaminassero le temperature, si avrebbe questo risultamento:

Che se il sole non facesse sentire l'azione sua sul nostro globo, la temperatura della superficie del suolo sarebbe dappertutto uniforme e di

—89°.

Ora, poichè la media temperatura dell'equatore è di 27°, 5 se ne dee conchiudere che la presenza del sole accresce la temperatura della zona equatoriale di

116°, 5.

Parimente la media temperatura della colonna atmosferica sarebbe nell'equatore di

— 149°.

Le formole precedenti mostrano ch'è di circa — 10 gradi.

Sicchè la presenza intermittente del sole accresce di 139 gradi la media temperatura della totalità dell'atmosfera nella zona torrida.

Questo effetto del sole di aumentare le temperature terrestri oltrepassa di molto quello, che il Sig. Poisson ha ottenuto considerando le variazioni di temperatura a diverse profondità sotto la superficie del suolo ; ma parmi che i due metodi più concordi risultamenti daranno, quando riuscirà d'introdurre in un modo più diretto nelle formole del Sig. Poisson l'influenza tanto considerevole dell'atmosfera.

Per estendere ad altre regioni questi calcoli bisogna tener ragione del decrescimento della temperatura del suolo, siccome la latitudine cresce ; ma è facile il riconoscere per approssimamento che gli effetti del vento concorrono ad elevare la temperatura delle regioni polari, abbassando più o meno le temperature delle regioni comprese fra'cerchi polari ed i tropici ; la temperatura della zona equatoriale sembra anch'essa poco da questa cagione abbassata.

CAPITOLO II.

Dell' aria e de' vapori atmosferici.

516. *Osservazioni barometriche.* — Le osservazioni barometriche possono menare alla soluzione di molti problemi, che hanno un altissimo grado d' importanza; ma sarebbe facile d'impacciarsi in cotali ricerche, facile sarebbe il fare un gran numero di osservazioni perfettamente esatte e non pertanto inutili. Adunque noi qui dobbiamo por mano ad indicare le principali quistioni, che si propongono, e far noti i risultamenti, che già si sono ottenuti. Per giungere a questo scopo noi prenderemo per guida un' eccellente memoria, nella quale il Sig. Bouvard ha discusso con una scrupolosa accuratezza le osservazioni barometriche del reale Osservatorio di Parigi.

Ne' climi nostri il barometro si osserva quattro volte il dì: ad ore nove del mattino; a mezzodì; tre ore dopo; a nove ore della notte.

L' osservazione del mezzodì dà la media altezza del giorno, e quindi l' altezza media del mese e dell' anno. Le altre tre osservazioni servono a determinare le *variazioni orarie*, o quel che dicesi alcune volte il *periodo barometrico*.

L' altezza media del barometro a Parigi, data da venti anni di osservazioni dal 1816 al 1836, è di 756^{mm}; e si può risguardarla tanto più approssimata, perchè l'estreme medie annali non differiscono più di 3^{mm}.

Prendendo le medie corrispondenti ad ogni vento in questo lungo periodo, si ritrovano fra di esse considerevoli differenze, la maggior altezza media corrisponde ai venti di nord e nord-est, la più piccola ai venti di sud e di sud-ovest: l' eccesso della prima sulla seconda elevasi a più di 7^{mm}. Nove anni di osservazioni fatte a Metz

dal Sig. Schuster mostrano una simile influenza, quantunque sia meno considerevole ; e cinque anni di osservazioni fatte a Marsiglia dal Sig. Gambart appalesano per lo contrario un' influenza quasi nulla : dandosi tuttavia dal vento del sud un' altezza *superiore* alla media , ed una inferiore da' venti di ovest e di nord-ovest.

Le variazioni diurne de' barometri richiedono cure assidue ed istrumenti perfettissimi , le si deducono, siccome abbiamo detto, dalle tre osservazioni, di ore 9 del mattino , 3 ore e 9 ore della sera.

La tavola che segue contiene i risultamenti ottenuti dal Sig. Bouvard.

Medie altezze annali del barometro per le diverse ore del giorno, e medie variazioni diurne, che se ne deducono.

ANNO.	a 9 ora della mattina.	a 3 ora della sera.	a 9 ora della sera.	PERIODO della mattina.	PERIODO della sera.
	mm	mm	mm	mm	mm
1816	754,359	753,683	754.051	0,676	0,375
1817	756,676	755,914	756,510	0,762	0,597
1818	756,382	755,473	755,961	0,909	0,488
1819	755,343	754,581	754,993	0,762	0,412
1820	756,325	755,611	755,973	0,714	0,362
1821	756,276	755,598	756,068	0,678	0,470
1822	757,728	757,011	757,310	0,717	0,382
1823	755,197	754,493	754,773	0,704	0,280
1824	755,984	755,269	755,569	0,715	0,300
1825	757,966	757,122	757,224	0,844	0,102
1826	757,584	756.756	757,087	0,828	0,331
Medie.	756,347	755,591	755,956	0,756	0,373

Si vede che il valor più piccolo del periodo da nove ore del mattino a tre della sera , o *periodo del mattino* , è più grande del maggior valore del periodo da 3 ore a 9 della sera , o *periodo della sera* ; e che in

ogni periodo le differenze son picciolissime passando da un anno all' altro. L' ultima linea mostra il risultamento diffinitivo, o i valori medi tratti da questi undici anni. Sicchè il periodo del mattino è alquanto maggiore di *tre quarti* di millimetro, ed il periodo della sera alquanto maggiore di *un terzo*.

Degna d' investigazione era l' influenza delle stagioni su questi risultamenti, e per giungervi bastava cercare i valori medi de' periodi per ciascun mese, durante gli undici anni di osservazioni: queste medie son contenute nella tavola seguente.

Altezze medie del barometro della stessa denominazione riunite per mesi.

Dal 1816 al 1827.	a 9 ora del mattino.	a 3 ora della sera.	a 9 ora della sera.	PERIODO del mattino.	PERIODO della sera.
	mm	mm	mm	mm	mm
Gennaio .	758,106	757,429	757,690	0,677	0,261
Febbraio.	758,165	757,236	757,557	0,929	0,321
Marzo . .	756,203	755,406	755,823	0,797	0.500
Aprile . .	755,253	754,243	754,780	1,010	0,537
Maggio .	755,253	754,440	754,786	0,813	0,346
Giugno. .	757,307	756,600	756,875	0,707	0,275
Luglio . .	756.554	755,817	756,140	0,737	0,323
Agosto. .	756,807	755.953	756,271	0,854	0,318
Settembre	756,773	755,972	756,432	0,801	0,460
Ottobre .	754,772	754,021	754,522	0,751	0,501
Novembre	755,822	755,277	755,660	0,545	0,383
Dicembre	755,152	754,703	754,950	0,449	0,247
Medie . .	756,347	755,591	755,950	0,756	0,373

Le conseguenze, che questa tavola presenta, sono:

1.° Che il periodo della sera prova solo piccole ed irregolari variazioni ne' diversi mesi;

2.° Che il periodo del mattino al contrario prova considerevoli variazioni, e nelle quali si fa scorgere una

certa regolarità ; dappoichè il valore di questo periodo si mantiene costantemente minore ne' tre mesi di novembre , dicembre e gennajo ; costantemente maggiore nei tre mesi di febbraio , marzo ed aprile ; e serba un valore intermedio e mutabile negli altri sei mesi dell' anno.

Analoghi risultamenti importa investigare ne' climi diversi.

Da ultimo il periodo barometrico è sottoposto anche all' influenza del vento : esso è quasi nullo co' venti del sud , e arriva al suo maximum co' venti del nord.

Oltre i due periodi del mattino e della sera , di cui parlammo testè , sonovi ancora *due periodi di notte* : il barometro scende dalle nove ore della sera a quattro ore circa del mattino, e sale dalle quattro ore del mattino a nove ore, ove arriva al suo maximum. Questi periodi sono stati confermati e misurati dal Sig. Humboldt in tutta l'America equatoriale: ma non essendo stato il barometro, regolarmente osservato durante la notte a Parigi , non si sa se le sue oscillazioni siano regolari e se riproducano in una certa proporzione i periodi equatoriali.

Adunque tutto quello che ora può farsi è di paragonare i periodi del mattino e della sera ne' vari climi; ed anche , siccome il periodo del mattino ha un maggior valore , si può allo stesso fermarsi per tal paragone.

Ecco i risultamenti pubblicati intorno di ciò dal Sig. Humboldt.

Tavola delle variazioni diurne del barometro secondo le latitudini.

OSSERVATORI.		PERIODO DIURNO.
Humboldt e Bonpland.	America equatoriale, lat. 23° nord a 12° sud, tra 0t a 1500t d'elevazione.	m 2, 55
La Condamine .	A Quito, al Perù, a 0° di lat. e a 1492t al di sopra del mare	2, 82
Duperrey	A Payta, costa del Perù, lat. 5° a livello del mare. . . , ...	3, 40
Boussingault e Rivero	Santa-Fè de Bogota, a 4° 35' nord, a 1366t d'elevazione	2, 39
Dorta, Freycinet e Erchwege. .	La Guiara, lat. 10° 36' nord, a lido del mare.	2. 44
	Brasile, Rio-Janeiro, lat. 22° 54' sud, ed alle Missioni degl'Indiani . . .	2, 34
Leopoldo de Buch	Las-Palmas, Canarie, lat, 8° 28' n.	1, 10
Contelle.	Al Cairo, Egitto, lat. 30° 3' nord.	1. 75
Marquè-Victor .	Tolosa. lat. 43° 34' nord	1, 20
Gambart	Marsiglia, lat. 43° 18' nord. . . .	0, 72
Billet.	Sciamberl, lat. 45° 34' nord, 1317t di elevazione.	1, 00
Ramond.	Clermont-Ferrand, lat. 45° 46' nord, 210t	0, 94
Herrenschneider.	Strasburgo, lat. 48° 34' nord . . .	0, 80
Bouvard maggiore.	Parigi, Osservatorio, lat. 48° 50' n.	0, 76
Nell de Brèautè.	La Chapelle, presso Dieppe, lat. 49° 55' nord	0, 36
Basse e Sommer.	Conisberga, lat. 54° 42' nord . . .	0, 20
Parry.	lat. 74° nord	0, 00

Sicchè, il periodo del mattino quasi costante sotto l'equatore in tutta la zona de' tropici e fino all'altezza di 3,000 metri, decresce poi rapidamente, siccome la latitudine aumenta. E senza dubbio in questa legge di diminuzione progressiva si debbono investigar le cagioni del fenomeno medesimo; tutto sembra indicare che più dalla temperatura che dalla posizione del sole dipenda.

Il Sig. Flaugerques con 20 anni di osservazioni, dal 1808 al 1828, fatte a Viviers (Ardèche) ha comprovato che le altezze medie del mezzodì offrono sensibili differenze secondo le diverse fasi della luna, siccome indica la tavola che segue (Almanacco 1833).

Luna nuova. . . .	755. 48	Luna piena . . .	755. 30
Primo ottante. . .	755. 44	Terzo ottante . .	755. 69
Primo quarto . . .	755. 40	Secondo quarto .	756. 23
Secondo ottante. .	754. 79	Quarto ottante. .	755. 50

Sicchè l'altezza par che sia decrescente dalla luna nuova fino al 2° ottante per poi ritornare crescente e giungere al suo maximum nel 2.° quarto.

Parimente pel perigeo si rinviene 754, 73; e per l'apogeo 755, 73.

Per scorgere se questa influenza appartenga solo alla luna, ovvero all'azione congiunta della luna e del sole, farebbe senz'altro mestieri il discutere le medie corrispondenti a diverse ore della giornata.

Il Sig. Schübler ha studiato sotto un altro aspetto l'influenza lunare, discutendo i numeri de' giorni piovosi corrispondenti alle fasi diverse per un gran numero di osservazioni fatte a Monaco dal 1781 al 1788, a Stuttgard dal 1809 al 1812, ed a Monaco dal 1813 al 1828. E ne risulta, che, prendendo uno spazio grandissimo in modo, che comprenda 10, 000 giorni piovosi, i numeri di questi corrispondenti, per il giorno della luna nuova, il dì del 1mo ottante, ec., saranno conformi alla tavola seguente. (*Almanacco* 1835).

Luna nuova.	306	Luna piena.	337
Primo ottante. . . .	306	Terzo ottante	313
Primo quarto	325	Secondo quarto. . . .	284
Secondo ottante. . .	341	Quarto ottante	290

Senza dubbio queste influenze su' giorni pioviosi debbono esser ligate all'influenza sull'altezza media del barometro.

In tutte le osservazioni barometriche sonovi generalmente due correzioni essenziali da fare: l'una per la capillarità e per la temperatura l'altra.

Ecco la tavola adottata per le correzioni della capillarità :

Depressioni del mercurio nel barometro, dovute alla sua capillarità.

Diametro interno del tubo.	Depressioni.	Differenze.	Diametro interno del tubo.	Depressioni.	Differenze.
mm	mm	mm	mm	mm	mm
21,00	0,028	0,004	11,50	0,293	0,037
20,50	0,032	0,004	11,00	0,330	0,042
20,00	0,036	0,005	10,50	0,372	0,047
19,50	0,041	0,006	10,00	0,419	0,054
19,00	0,047	0,006	9,50	0,473	0,061
18,50	0,053	0,007	9,00	0,534	0,070
18,00	0,060	0,008	8,50	0,604	0,080
17,50	0,068	0,009	8,00	0,684	0,091
17,00	0,077	0,010	7,50	0,775	0,102
16,50	0,087	0,012	7,00	0,877	0,118
16,00	0,099	0,013	6,50	0,995	0,141
15,50	0,112	0,015	6,00	1,136	0,170
15,00	0,127	0,016	5,50	1,306	0,201
14,50	0,143	0,018	5,00	1,507	0,245
14,00	0,161	0,020	4,50	1,752	0,301
13,50	0,181	0,023	4,00	2,053	0,362
13,00	0,204	0,026	3,50	2,415	0,487
12,50	0,230	0,030	3,00	2,902	0,692
12,00	0,260	0,033	2,50	3,595	0,985
11,50	0,293		2,00	4,579	

La correzione di temperatura dipende ad un tempo dal coefficiente di dilatazione del mercurio e dal coefficiente di dilatazione della scala, su di cui le divisioni sono segnate. Essendo i coefficienti di dilatazione 0,0001802 pel mercurio ; 0,0000086 pel vetro ; e 0,0000172 pel rame, riesce agevole il far delle tavole di correzione : trovasene una nella memoria del Sig. Bouvard, supponendo che sia la scala di rame.

517. *Dei venti.* — Molto si è scritto sui venti; molte osservazioni sono state fatte sulla loro direzione, sui loro cangiamenti periodici o irregolari: e nondimeno qui non potremo dire che pochissime cose. È una materia così vasta ed intralciata, ch'è stato impossibile finora di trarre qualche legge generica dalla totalità delle osservazioni note. Dovrebbonsi svolgere tutt'i registri meteorologici, esaminare lo stato de' venti in tutt'i punti del globo per un medesimo istante, e discutere i cangiamenti contemporanei, che sopravvengono negl'istanti appresso. Questo smisurato lavoro passa i confini di un'opera elementare; se fosse stato fatto, ce ne gioveremmo per riassumere in breve i fatti generici, a cui deve necessariamente menare.

Si è creduto osservare che i venti si succedano in certi luoghi con un ordine determinato; ma queste osservazioni in sè stesse molto più semplici, dappoichè sono più ristrette, ancora troppo incertezze presentano, perchè ci sia conceduto di discuterle qui.

Noi ci limiteremo ad alcune osservazioni sulla direzione de' venti e sulle cause generali che si possono assegnar loro.

I venti si possono propagare per *impulsione* e per *aspirazione*. In tal modo noi dinoteremo due opposti modi, che debbono essere accuratamente distinti. Il vento propagasi per *impulsione*, quando il soffio segue in un verso e nello stesso verso il cammin progressivo: il che succede precisamente del vento, ch'esce da un mantice, nel quale sia l'aria compressa. Il vento si propaga per *aspirazione*, quando il soffio segue in un verso ed il cammino progressivo nel verso opposto: il che accade al vento, ch'entra in un mantice, nel quale sia l'aria rarefatta: il soffio ha luogo *verso* la doccia, ed il cammino progressivo della corrente in senso contrario, dappoichè i più lontani punti son quelli, che ultimi ricevono l'impressione.

Questo ultimo modo non è tanto raro quanto si pensa, e ne vedremo la prova nel seguente articolo, parlando degli oragani: anche il Wargentin avealo osservato

su'venti nel nord dell'Europa. Quando il vento passa all'ovest, dice, si fa sentire a Mosca anzichè ad Abo, quantunque quest'ultima città sia quasi quattrocento leghe più *occidentale* di Mosca, ed in Svezia non giunge se non dopo avere soffiato precedentemente in Finlandia.

Fra tutte le cagioni, che si assegnano a'venti, senza dubbio una delle più potenti è il pronto addensamento dei vapori nel seno dell'atmosfera. Alcune volte si veggono in un'ora cadere 27^{mm} di acqua su di una grande estensione di paese, in ispezialtà nelle regioni equatoriali. Ora supponiamo soltanto che questa estensione abbia dieci leghe di lato ovvero sia di cento leghe quadrate: se il vapore necessario a produrre 27^{mm} sopra cento leghe quadrate fosse nell'aria allo stato elastico e solo a 10° di temperatura, esso occuperebbe uno spazio centomila volte più grande che allo stato liquido; occuperebbe cioè uno spazio di cento leghe quadrate sopra $2,700,000^{mm}$ ovvero 2,700 metri di altezza. Queste adunque sarebbero le dimensioni del voto, che risulterebbe da siffatto addensamento. In verità il vapore non è nello stato elastico; esso è nello stato vescicolare; ma solo perchè riman sospeso nell'atmosfera, probabilmente ha una densità minore che nello stato liquido; ed il suo condensamento in gocce di pioggia produce ancora un voto immenso, che non può riempiersi senza eccitare una grande scossa atmosferica (11).

518. *Degli oragani.* — Frequenti son gli oragani nella zona torrida ed in tutt'i climi di alta temperatura, e si manifestano con una prodigiosa violenza; ne'climi nostri temperati essi sono ad un tempo più rari e men violenti; e nelle regioni polari le grandi scosse atmosferiche, che del rimanente sono assai abituali, a quel che pare, si riducono a venti di tempesta o solo a fortissimi venti. Generalmente gli oragani occupano una grande estensione in larghezza, ed una estensione anche maggiore in lunghezza: se ne potrebbero citar di quelli, che hanno percorso quattro o cinquecento leghe con una veemenza quasi uguale; essi, come il vento, si propagano mercè un moto di trasferimento in una direzione quasi

costante: la loro eccessiva velocità li distingue, la qual è certe volte più che venti leghe l'ora. Negli oragani non evvi alcun agente nascosto in moto, non alcun fluido imponderabile analogo all'elettricità, ch'eserciti un'azione diretta: in conchiusione non è altro che aria in moto, che opera con la sua potenza meccanica; e l'aria è tanto leggera, che estremamente limitata sembra dover essere tutta la sua potenza: ma la forza, che le molecole di aria non hanno per la lor massa, l'acquistano con la velocità loro, e diventano in tal modo atte di produrre effetti, che paiono a primo aspetto incredibili, e sono purtuttavia conformi alle leggi della meccanica.

Per dare un'idea adeguata di questi effetti, noi qui riferiremo alcuni de'troppo famosi disastri cagionati dall'oragano, che nel 25 luglio 1825 ha devastato la Guadalupa.

Case fabbricate solidamente sono state rovesciate; un'intera ala di un edificio nuovo fatto con la maggiore solidità a spese dello Stato, compiutamente venne al suolo agguagliata.

Il vento aveva impresso alle tegole tanta velocità, che parecchie penetrarono attraverso di doppie porte nei magazzini.

Una tavola di abete lunga *un metro* larga *due decimetri* e *mezzo*, e *ventitre millimetri* doppia, si agitava nell'aria con tale velocità, che trapassò da parte a parte un'asta di palma del diametro di *quarantacinque centimetri*.

Un pezzo di legno di *venti centimetri di quadratura* e *quattro in cinque metri* lungo, spinto dal vento su di un cammino ferrato battuto e frequentato, entrò *quasi un metro* sotterra.

Una bella inferriata posta davanti al palagio del governatore, tutta quanta fu rotta.

Tre cannoni da 24 si smossero fino a toccare la spalla della batteria in cui erano.

A spiegare tutti questi fenomeni non evvi che una sola difficoltà, quella di sapere come l'aria abbia potuto ricevere nell'atmosfera una velocità tanto prodigiosa;

imperocchè, data questa velocità, le più stupende azioni meccaniche ne diventano le necessarie conseguenze. Il gas in moto urta la palla fuor del cannone; il gas in moto è pur quello che slancia pezzi di roccia nell' aria, quando scoppia una mina.

Direzione degli oragani. — Al pari de' venti gli oragani possono propagarsi per *impulsione* o per *aspirazione*. Questo secondo modo merita attenzione, conciossiachè un importante dato fornisca sulla cagione del moto. Sembra che il Franklin ne abbia fatto il primo l' osservazione. In una delle sue lettere ci riferisce, che, avendo voluto osservare a Filadelfia un eclissi di luna, ne fu impedito da un oragano dal *nord-est*, che si manifestò verso le sette ore della sera, ed adunò secondo il solito dense nubi, che coprirono tutto il cielo. Alcuni dì appresso rimase stupito di sapere che a Boston, città situata circa quattrocento miglia al *nord-est* di Filadelfia, la tempesta non era incominciata che ad undici ore della sera, lungo tempo dopo l'osservazione delle prime fasi dell' eclissi; ed insieme paragonando i rapporti raccolti nelle diverse colonie, Franklin osservò costantemente che questa tempesta dal nord-est era avvenuta tanto più tardi, quanto più la stagione era *settentrionale*, e che però *il vento soffiava in un verso, ed innoltravasi progressivamente nel contrario.*

In seguito si è notato un gran numero di oragani, che presentavano questo particolare carattere nelle loro direzioni.

519. *Delle trombe.* — Il fenomeno delle trombe è ad un tempo il più straordinario de' fenomeni meteorologici negli effetti che produce, ed il più incomprensibile nelle sue cause. Per darne un' idea giusta noi riferiremo testualmente la descrizione di una tromba, ch' è stata osservata nelle vicinanze di Trèves dal professore Grossmann l' anno 1829.

« Verso due ore dopo mezzodì, una lega sotto Trèves all'est-nord-est di Ruwer e di Pfalzel a 20° circa sull' orizzonte, apparve un fenomeno, che fece stupire e riempiere di un' inquieta attenzione per una mezz' ora

un gran numero di genti, ch' erano occupati in campagna.

» Il cielo dopo la pioggia, ch' era allora allora caduta, era tutto ancora coperto, quando in un attimo dal mezzo di una nera nube, che innalzavasi dall' est-nord-est, cominciò a muoversi una massa luminosa in un senso contrario ed a lacerarla con violenza. Di presente la nube prese verso sopra l' aspetto di un cammino donde fosse uscito un fumo di un grigio biancastro, mescolato di tratto in tratto da getti di fiamma, ed elevantesi da parecchie aperture con tanta forza (così un gran numero di testimoni si espressero), che se fosse stata spinta con la maggior energia da molti mantici.

» La meteora era giunta al di sopra delle vigne di Disburg e di rimpetto a Ruwer, allorchè in qualche lontananza più al sud sulla destra riva della Mosella, interamente a contatto col suolo, una nuova meteora, come a molti sembrò, in una tremenda guisa comparve; disperse masse di carbone di terra accumulate intorno di un albero, rovesciò un operaio di un forno a calce, che colà si trovava, e si precipitò verso la Mosella con uno spaventevol fracasso, come se un gran numero di pietre insieme si urtassero. L' acqua si slanciò in alta colonna.

» Rotolando con lo stesso fracasso quest' ultima meteora sempre per terra si avviò dalla Mosella attraverso alle campagne di Pfalzel, rimanendo manifeste vestigia del suo cammino in serpeggiamenti attraverso a' campi di legumi e di biada. Una parte de' legumi venne tutta quanta distrutta, un' altra abbattuta ed arsa, la rimanente spinta lungi nell' aria.

» Parecchie donne, accanto alle quali la meteora passò, vennero meno: altre più lontane si nascosero o presero la fuga gridando: tutt' i campi sono in fuoco. Due operai saliti sopra di un albero osservarono la meteora in tutto il suo tragitto; un altro ebbe anche il pensiero animoso di seguitarla, e questo era facile camminando di un passo discreto. Ma la meteora, in uno de' serpeggiamenti che descriveva, di botto l' inviluppò. Egli si sentì ora spinto innanzi, ora violentemente sollevato;

si chinò attaccandosi fortemente alla terra co' suoi utensili; ma non per questo fu meno rovesciato. Non pertanto il turbine lo abbandonò e continuò il suo cammino.

» Egli non ricorda niuna particolare impressione, che avesse toccato o l'odorato o il gusto, ma solo un romore assordante. Afferma che vi erano due correnti, una delle quali estollevasi obbliquamente trascinando aste e rovi con altri corpi leggeri, l'altra aveva una contraria direzione.

» La via, che la meteora erasi rotta attraverso ai campi, aveva in diverse corrispondenze una larghezza di 10 in 18 passi sopra una lunghezza di 2,100. La forma sua era quasi conica; il suo colore ora grigio-bianco o giallo, ora bruno oscuro, il più spesso quello del fuoco. La prima meteora stava nell'aria al di sopra di questa quasi parallela innanzi verso il nord; per circa diciotto minuti presentò una grande massa di un grigio biancastro, che spesso pareva vomitasse fumo rosso di fiamma; e che veduta in distanza di circa mezza lega aveva la forma di un serpente lungo 140 passi, la cui testa era verso il nord-nord-est e la coda all'opposito.

» Tra otto minuti o dieci già la coda si era mutata abbassandosi; nell'istante che toccò terra tutto il fenomeno sparve e ad un tempo anche la meteora inferiore, senza che fosse seguita veruna esplosione, nè dalla parte elevata in aria, nè come un testimonio oculare afferma, dalla parte inferiore; ma un puzzolentissimo odor di zolfo si sparse allora per tutta la campagna. Quasi nello stesso momento una bufera scoppiò ne' boschi posti al nord-nord-ovest del luogo, dove la meteora si era mostrata, e venne accompagnata da una grandine di granelli grossi fuor di misura.

» In tutto questo tempo il sole non comparve affatto, per quel che afferma la maggior parte degli spettatori. Non si udiva alcun soffio di vento.

» La meteora superiore fu vista da Gutweiler, Cossel ed altre regioni, come pure da Trèves, sembrava discesa dalle alture di Hochwald. »

Noi potremmo citare un gran numero di consimili

*

osservazioni fatte in diversi punti del globo. *Trombe marine* (*fig. 403*) si dicono quelle, che appaiono o in alto mare o vicino a' lidi; *trombe di acqua* quelle, che si mostrano sopra i laghi ed i fiumi; *trombe di aria* poi quelli, che con maggiore o minore celerità percorron la terra. Ma tutto ciò, che si è potuto raccogliere su queste diverse trombe, manifestamente dimostra che dipendono dalle stesse cagioni e producono gli stessi effetti: è una sola e medesima potenza, che ora si esercita sopra le acque per sollevarne colonne molte centinaia di metri alte; ora sul suolo per aprire la terra, rompere gli alberi e spingere fino alle nubi tutti questi frantumi.

In qual modo questa potenza, alcune volte tanto prodigiosa, può nascere in mezzo all'aria? Si dee confessare ch'è una quistione, alla quale non può la scienza fare alcuna risposta precisa.

IGROMETRIA.

520. *Costruzione ed uso degli igrometri.* — L'igrometria ha uno scopo doppio, quello di misurare la forza elastica del vapore che sta nell'aria, e quello di determinare l'azione, che i vari corpi della natura possono esercitare su di esso. Questa seconda parte offre per necessità un gran numero di fenomeni, che qui non possono esser considerati se non di un modo generico; sicchè ci fermeremo specialmente sulla prima parte che presenta una quistione chiara e precisa.

Tutti gl'istrumenti, che servono a misurare la forza elastica del vapore contenuto nell'aria, si chiamano *igrometri*: ma essi sono fondati sopra diversi principi; altri operano per condensamento, altri per assorbimento, altri infine per semplice evaporazione.

Igrometri di condensamento. — Immaginiamo un vaso di vetro ripieno di acqua in un'atmosfera tranquilla a 20°: se l'acqua si raffredda gradatamente a 19°, 18°, ecc., vi sarà un istante, nel quale, le pareti del vaso si

offuscano e si ricoprono di rugiada; allora è nota la forza elastica del vapore ch' esiste nell'aria, dappoichè è la tensione maximum corrispondente alla temperatura del *punto di rugiada*.

In fatti lo strato di gas, che inviluppa le pareti esterne del vaso, si raffredda come queste stesse pareti, e raffreddandosi tutto mercè il loro contatto, esso serba l' intera sua elasticità misurata dall' altezza del barometro; ma evvi altro: dei due elementi, che compongono questo strato di gas, l' aria cioè ed il vapore, ognuno serba la sua elasticità parziale: ora nel momento che questo vapore incomincia a condensarsi, esso ha manifestamente la forza elastica maximum corrispondente alla temperatura di condensamento. Questo è il principio, su cui si fonda la struttura degl' igrometri di condensamento. Tutto si riduce ad osservare con esattezza la temperatura del punto di rugiada, ed a cercar nella *tavola* la forza elastica corrispondente. Noi riprodurremo qui siffatta tavola, aggiungendovi una colonna, in cui trovasi espresso in grammi il *peso di vapore* contenuto *in un metro cubico di aria*.

Tavola de' pesi del vapore contenuto in un metro cubico di aria.

TEMPERATURA del punto di rugiada.	FORZA elastica corrispondente.	PESO del vapore	TEMPERATURA del punto di rugiada.	FORZA elastica corrispondente.	PESO del vapore.
	mm	gr.		mm	gr.
— 20°	1,3	1,5	19°	16.3	16,2
— 15	1,9	2,1	20	17,3	17,1
— 10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19,1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24,4	23.8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26.4
6	7,4	7,7	29	29,0	27.9
7	7,9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32.6
10	9,5	9,7	33	36,2	34.3
11	10,1	10,3	34	38,3	36.2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44.4
16	13,6	13,7	39	50,1	46,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3	»	»	»

Il principio del condensamento si trova messo in pratica ne' tre igrometri seguenti :

L'*igrometro a capsola* si compone di un termometro e di una picciola capsola di sottilissima incrostatura di oro (*fig. 378*). Nella capsola si versa dell'etere solforico, l'evaporazione che ne segue raffredda ad un tempo l'etere, la capsola ed il termometro. La temperatura si osserva nell'atto che l'oro si appanna, questa è la temperatura del punto di rugiada; la corrispondente forza elastica sta scritta sulla scala del termometro.

L'*igrometro a ghiera d'oro* (*fig. 379*) pe' viaggi è meno fastidioso: è un semplice termometro a serbatoio cilindrico sottile ed allungato, avente nel mezzo della sua lunghezza una ghiera d'oro bene aggiunta al vetro; il serbatoio è da ciascun lato coperto di una fina tela: vi si versa l'etere, e si osserva la temperatura nell'atto che l'oro si appanna; nella cassa del termometro è contenuta la boccia di etere.

La figura 380 rappresenta l'*igrometro di Daniell*. Si compone di un tubo ricurvo terminato in due palle: l'una *a* di vetro nero, *b* l'altra di vetro ordinario. La palla nera è mezzo piena di etere, e contiene inoltre un piccolissimo termometro, di cui l'asta e la scala sono fermate nell'interno del tubo *t*: l'aria è interamente scacciata dall'apparecchio. Si versa etere solforico sulla palla *b* ch'è vestita di tela fina, e si rinnova l'operazione finchè la rugiada si depositi sulla palla nera. Si osserva la precisa temperatura che allora segna il piccol termometro interno: e questa è la temperatura del punto di rugiada:

Il raffreddamento della palla nera è prodotto dalla pronta evaporazione dell'etere ch'essa contiene, la quale è anch'essa prodotta dal condensamento dell'etere nell'interno della palla *b*, sempreppiù raffreddato dall'evaporazione, che segue nella sua superficie esterna.

Igrometri di assorbimento. — Havvi un gran numero di corpi, che più o meno avidamente assorbono il vapore aqùeo contenuto nell'aria, e, siccom'essi provano nel tempo stesso alcuni cangiamenti nelle loro dimensioni, nel loro peso o in alcune altre proprietà loro, si è tentato di prendere questi stessi cangiamenti per misura delle quantità di vapori assorbite. Molti igrometri su questo principio sono stati costrutti, ma noi qui non ne descriveremo che uno solo, cioè l'*igrometro a capello*, detto anche l'*igrometro di Saussure* dal nome del suo illustre inventore.

L'igrometro a capello è rappresentato nella figura 381. Il capello è fissato dal suo estremo superiore in una pinsette *a*, che può soffrire lievi spostamenti me-

diante la vite *b* e la molla *c*; dall' estremo suo inferiore si avvolge ad una carrucola a due scanalature, il cui asse ha un ago *d* destinato a percorrere il quadrante *e*. Nella seconda scanalatura della carrucola è avvolto un filo di seta avente un piccolo contrappeso *f* destinato a dare al capello una tensione continua e sempre uguale.

Ora ecco il gioco dell' istrumento. Allorchè l' aria, che inviluppa il capello, diventa più umida, questo assorbe una quantità novella di umidità e si allunga, il contrappeso fa girar la carrucola, e l' ago cammina verso il punto *h* del quadrante: per lo contrario, quando l'aria diventa più asciutta, il capello perde una porzione dell' umidità sua, diventa secco anch' esso, si accorcia, ritira il contrappeso, fa girar la carrucola, e l' ago cammina verso il punto *s* del quadrante.

Le indicazioni, che si possono trar dall' igrometro a capello, si fondano sopra questi due principi:

1° Nell' *estrema aridezza* il capello acquista sempre lo stesso grado di accorciamento, cioè l'ago finisce sempre col fermarsi in un punto medesimo *s* del quadrante, qualunque sia la temperatura; questo punto *s* è quello della secchezza estrema.

2° Nell' *estrema umidità* il capello acquista sempre lo stesso grado di allungamento, cioè l'ago finisce sempre col fermarsi nello stesso punto *h*; qualunque sia la temperatura; questo punto *h* è quello dell' estrema umidità.

Pel capello medesimo l' intervallo compreso fra gli estremi punti *s* ed *h* è sempre lo stesso, ed il moto della pinsette superiore *a* serve a cangiare un poco la lunghezza del capello, per condurre questi punti sul quadrante.

Noi dimostreremo ancora questi principi con l'esperienza, e faremo la gradazione dell' istrumento. L' igrometro si mette sotto una campana; vi si fa il voto, ovvero lasciavisi l' aria: ma se ne assorbisce in amendue i casi tutta l' umidità, o con l' acido solforico concentrato o con cloruro di calce, ed osservasi il punto nel quale l' ago si ferma; questo punto è segnato zero sopra il

quadrante: è il punto di estrema aridezza, conciossiachè l'esperienza più volte ripetuta a temperature diverse dia notabilissimamente lo stesso risultamento. Alcune volte bisognano molti giorni, perchè l'ago cessi compiutamente di andare al secco.

Dipoi l' igrometro si porta sotto una campana, le cui pareti sono state bagnate con acqua distillata; la campana stessa è poggiata su di un piatto, nel cui fondo si è sparsa dell'acqua, e l'esperienza si abbandona a sè stessa. L'ago procede rapidamente verso il punto *h* o verso l' umidità, e finalmente si ferma: il punto in cui si arresta è lo stesso, sia la temperatura ambiente 0°, 10°, 20°, 30°; è il punto dell'estrema umidità. Quivi si segna 100: l'arco compreso sul quadrante fra 0 e 100 è poscia diviso in 100 uguali parti, ognuna di queste è ciò che dicesi *un grado di umidità*.

Prima di ogni altro i capelli vogliono esser sottoposti ad una lisciva alcalina molto leggera ed appena tepida; poi si scelgono que' che sono ad un tempo molto uniti ed omogenei: spesso accade che dopo alcuni mesi il capello è alterato, esso finisce di far ritorno a'suoi punti estremi e di avere un cammino regolare; si dee rinnovarlo.

L'igrometro graduato nel modo anzidetto non serve ad altro, che a segnare l'estrema secchezza o l'umidità estrema, ed a mostrare che l'aria più o meno si accosta a'suoi limiti. Per trarre da queste indicazioni la forza elastica del vapore, si dovevano stabilire le corrispondenze, che ci sono tra i gradi dell'igrometro e le forze elastiche stesse; ciò ha fatto il Sig. Gay-Lussac, e la seguente tavola contiene la tensione del vapore, alla temperatura di 10°, corrispondente a ciascun grado dell'igrometro.

TAVOLA IGROMETRICA

Costrutta per la temperatura di 10 gradi centesimali dietro gli esperimenti del Sig. Gay-Lussac.

GRADI dell' igrometro a capello.	TENSIONI.	GRADI dell' igrometro a capello.	TENSIONI.	GRADI dell' igrometro a capello.	TENSIONI.
0	0,00	34	17,10	68	44.89
1	0,45	35	17,68	69	46 04
2	0,90	36	18,30	70	47,19
3	1,35	37	18,92	71	48,51
4	1,80	38	19,54	72	49,82
5	2.25	39	20,16	73	51,14
6	2,71	40	20.78	74	52,45
7	3,18	41	21,45	75	53,76
8	3,64	42	22,12	76	55,25
9	4,10	43	22.79	77	56,74
10	4.57	44	23,46	78	58,24
11	5,05	45	24,13	79	59,73
12	5.52	46	24,86	80	61,22
13	6,00	47	25,59	81	62.89
14	6,48	48	26,32	82	64,57
15	6,96	49	27,06	83	66,24
16	7,46	50	27,79	84	67.92
17	7.95	51	28.58	85	69,59
18	8,45	52	29,38	86	71,49
19	8,95	53	30,17	87	73,39
20	9,45	54	30.97	88	75,29
21	9,97	55	31,76	89	77,19
22	10,49	56	32,66	90	79.09
23	11,01	57	33.57	91	81,09
24	11,53	58	34.47	92	83,08
25	12,05	59	35,37	93	85,08
26	12,59	60	36,28	94	87.07
27	13,14	61	37,31	95	89,06
28	13,69	62	38,34	96	91,25
29	14,23	63	39,36	97	93,44
30	14.78	64	40,39	98	95,63
31	15 36	65	41,42	99	97,81
32	15 94	66	42,58	100	100,00
33	16,52	67	43,73	»	»

La forza elastica maximum in questa tavola vien rappresentata da 100: sicchè, quando ad 80° dell'igrometro, trovasi 61, 22 nella tavola delle tensioni; per aver la tensione in millimetro bisogna moltiplicar questo numero per $\frac{9,47}{100}$, essendo la tensione maximum 9, 47 a 10°: e bisognerebbe moltiplicarlo per $\frac{12,8}{100}$ a 15°, essendo allora 12, 8 la tensione maximum.

Pur nondimeno questa tavola probabilmente sarebbe erronea per temperature, che si allontanassero troppo da 10°, conciossiachè mutino con la temperatura le corrispondenze fra' gradi dell'igrometro e le tensioni.

Ecco il processo adoperato dal Sig. Gay-Lussac nel fare questa gradazione. Egli ha preso varie dissoluzioni, che davano vapore aqueo a diverse tensioni per la stessa temperatura di 10°; ha osservato i gradi dell'igrometro ne' vapori, e dipoi ha interpolatamente conchiuso i gradi, che l'igrometro avrebbe segnato in altri vapori di tensioni intermedie, o *vice versa*. La tavola, che segue, indica le dissoluzioni prescelte; le tensioni loro erano state nel barometro misurate come quelle del vapore aqueo.

NATURA delle DISSOLUZIONI.	DENSITA' delle dissoluzioni a 10° centesimali	TENSIONE delle dissoluzioni a 10° quelle dell'acqua essendo rappresentata da 100.	GRADI dell'igrometro a capello corrispondenti alla tensione di ciascuna dissoluzione.
Acqua.	1000	100, 0	100, 0
Muriato di soda .	1096	90, 6	97, 7
Id.	1163	82, 3	92, 2
Id.	1205	75, 9	87, 4
Muriato di calce.	1274	66, 0	82. 0
Id.	1343	50, 5	71, 0
Id.	1397	37, 6	61, 3
Acido solforico	1493	18, 1	38. 1
Id.	1541	12, 2	25, 3
Id.	1702	2, 4	6, 1
Id.	1848	0, 0	0, 0

Prima di scegliere il capello erasi adoperato un gran numero di sostanze organiche: cartapecora, pelli variamente apparecchiate, nastri di balena, ecc., erasi avuto anche ricorso al cangiamento di volume o di capacità; si era posto del mercurio nelle penne da scrivere, in vesciche di sorci, ecc., ed in uno stretto tubo si osservavano i movimenti di ascensione o di depressione del mercurio, secondo che la capacità diventava maggiore per l'umidità, o ristringevasi per secchezza. Ma tutte queste invenzioni ora sono quasi affatto abbandonate.

Psicrometro. — Il psicrometro immaginato dal Signor Augusto di Berlino misura lo stato igrometrico dell'aria mercè l'evaporazione dell'acqua, o piuttosto mercè il raffreddamento, che produce. Questo istrumento è composto di due termometri uguali (*fig. 382*), i cui serbatoi sono egualmente esposti all'aria: ma uno rimane asciutto, mentre l'altro coperto di una fina tela, è incessantemente inumidito: un semplice filo di lino, che dal serbatoio va ad un vaso di acqua vicinissimo, basta a produr questo effetto. L'evaporazione, che segue sul serbatoio umido determina un abbassamento di temperatura, dal quale si può dedurre la forza elastica del vapore che ci è nell'aria. Dapprima si potrebbe supporre che questo raffreddamento dipenda dalle correnti di aria: ma si deve osservare che, se l'aria raffredda la palla umida, togliendole del vapore; la riscalda toccandola, ed il Sig. Augusto ha mostrato che le due opposte cagioni si bilanciano, per modo che la differenza delle temperature tra la palla secca e l'umida non dipende dalla velocità del vento; sicchè la dipende solo dal grado di umidità dell'aria. Stabilito questo principio il Sig. Augusto ha formato delle tavole, che per ciascuna temperatura indicata dal termometro secco danno la forza elastica del vapore igrometrico, quando si conosce il raffreddamento della palla umida. Questa nuova specie d'igrometro si adoperò con molto successo dal Sig. Humboldt e da altri osservatori; ed è lecito il presumere che presterà grande aiuto alla scienza, quando il maggior numero de' costruttori d'istrumenti saranno pervenuti

ad ottenere quel grado di perfezione, che mai non manca di dargli il suo inventore Sig. Augusto.

DEL SERENO, DELLA RUGIADA, DELLA BRINA, E DELLA GELATA.

521. Il *Sereno* è una piccola pioggia minuta, che sovente cade, senza che siavi alcuna nube nel cielo. Nei climi nostri questo fenomeno si vede soltanto l'està, e quasi sempre sul tramontare del sole: soprattutto si osserva nelle valli o nelle basse pianure in piccola distanza da' laghi e da' fiumi; molto più rado ne' luoghi alti.

Semplicissima n'è la cagione. Supponiamo un momento che verso cinque o sei ore dopo mezzodì la temperatura dell'aria atmosferica sia per esempio di 20°, e la tension del vapore 13^{mm}: allora continuando il sole ad accostarsi all'orizzonte, la temperatura ambiente di mano in mano si abbassa, senza che la forza elastica del vapore soffra verun cangiamento, e, quando la temperatura giunge a 14 in 15°, il vapore non può esistere più in totalità, dappoichè avrebbe una forza elastica maggiore del *maximum* conveniente a siffatta temperatura: dunque sarà mestieri che in parte si addensi; e questo condensamento produce il sereno. Il qual fenomeno è sensibilissimo solo ne' grandi calori, conciossiachè solo allora l'aria contenga molti vapori.

Rugiada. Tutt' i fenomeni della rugiada son conseguenza delle leggi dell'igrometria e delle leggi del raggiamento notturno. Il dottor Wells ha scoperto il primo e sviluppato tali conseguenze in una serie d'ingegnose sperienze, che risalgono quasi all'anno 1800; la sua opera sulla rugiada fu coronata nel 1816 dalla Società reale di Londra.

Nelle notti calme e serene l'aria atmosferica e tutt'i corpi sparsi nella superficie terrestre si raffreddano pel lor raggiamento verso gli spazi celesti; ma si raffreddano disugualmente; l'aria meglio conserva il suo calore, e quasi tutt' i corpi diventano più freddi di esso, alcuni di 1°, altri di 2°, 3°, altri infine di 10, od anche di 12°.

Noi abbiamo veduto che questi vari abbassamenti sotto la temperatura dell'aria ambiente dipendono da tre cagioni principali, cioè: 1° dal potere raggiante, dalla conduttibilità e dalle dimensioni degli stessi corpi; 2° dall'aspetto, sotto di cui possono vedere il cielo e gli obbietti circostanti; 3° dalla lor posizione obbliqua o inclinata, e dal modo onde sono esposti al vento o alle correnti di aria.

Quando fa un vento più o meno forte, tutte queste disuguaglianze più o meno spariscono, dappoichè l'aria conduce i corpi alla sua temperatura, siccome si raffreddano pel raggiamento; quando il cielo è coperto esse pure spariscono, dappoichè il calore diffuso delle nubi variamente assorbito da'vari corpi, rende le loro perdite quasi uguali ed analoghe a quelle dell'aria.

Questi fatti e quello del condensamento del vapore, quando giunge al suo maximum, bastano a spiegare tutt'i fenomeni tanto diversi, che la rugiada, la brina o la gelata presentano.

In quanto alla rugiada ei basta ora di osservare che, essendo per esempio la temperatura dell'aria di 15° in un certo tempo della notte, vi saranno dei corpi a 14°, altri a 13, ed i più raggianti anche a 7, 6 ovvero 5°, se si trovano convenientemente situati. Allora, se l'aria è umidissima, cioè se il punto di rugiada è vicino a 15°, quasi tutt'i corpi avranno rugiada, i più caldi in piccola quantità ed i più freddi in gran proporzione; se meno umida è l aria, se il punto di rugiada è per esempio a 10°, i corpi che sono al di là di 10° rimarranno asciutti, quelli a men di 10° saranno più o meno di rugiada coperti; finalmente, se l'aria è oltremodo asciutta, se il punto di rugiada è al di sotto di 5° tutt'i corpi rimarranno secchi, tanto i più caldi che i più freddi.

Per altre temperature dell'aria, o in un'ora più innoltrata della notte, o in una stagione diversa, il raggiamento è precisamente lo stesso.

La *Brina* o *Gelata bianca* non nasce da diversa cagione, essendo rugiada gelata; ei basta dunque che

nell'atto del levar del sole la temperatura dell'aria non oltrepassi 6 in 7°, perchè vi siano de' corpi coperti di brina, se da un'altra parte sono adempiute le condizioni, che dan la rugiada, dappoichè in tal caso, cadendo i corpi più freddi al di sotto di 0, la rugiada che li copre non può non essere rappresa in ghiaccio o piuttosto in piccoli aghi di neve.

Le *gelate d' autunno* e quelle soprattutto *di primavera*, che alcune fiate sono tanto funeste a' ricolti, hanno la medesima origine, se non che allora lo stato dell' umidità dell' aria non esercita veruna influenza: non è il vapor deposto che si congela, è l' acqua contenuta nei giovani rampolli delle piante, nelle gemme ne' fiori o negli embrioni de' frutti, ch' essa stessa si gela, quando questi vari organi delicati sottoposti al raggiamento notturno, come tutt' i corpi, di cui abbiamo testè parlato, finiscono col giungere ad una temperatura di $\frac{1}{2}$° ovvero di 1° *sotto* 0: il che accade indubitatamente, non appena la temperatura dell' aria scende a 3° in 4° *sopra* 0, essendo sereno e tranquillo il cielo.

L' aria non è generalmente immobile intorno alle diverse parti degli alberi o degli arbusti, dappoichè gli strati di aria, che han raffreddato col loro contatto, sdrucciolano come sopra piani inclinati e vengono sostituiti da altri; questo moto tende a riscaldarli, ed è probabile ch' essi per questa cagione non cadano a più di 4 in 5 gradi sotto la temperatura dell' aria.

Da questi principi risulta che, per impedir la gelata nelle sopraddette circostanze, ci basta affievolire gli effetti del raggiamento, al che si perviene col *nascondere il cielo* alle piante, che si vogliono proteggere, o mettendo a certa distanza intorno di esse delle tele o delle stuoie, ovvero di semplici veli coprendole. Questi mezzi con tanto successo adoperati ad impedir le gelate locali nulla possono contro le gelate generali, cioè contro quelle, che sopravvengono, perchè la stess' aria è caduta ad una temperatura più bassa di 0.

Gli effetti del raggiamento sono resi sensibilissimi

da' processi che si adoperano per fare il ghiaccio al Bengala. Il Sig. Williams parla di questa specie di *manifatture*, che occupano fino a trecento operai (*Transaz. Filosof.* vol. LXXXIII). Tutto l'artificio consiste nello scegliere un terreno bene scoperto e di una convenevole estensione, che si divide in piccioli quadrati di 4 in 5 piedi di lato circondato di un piccolo orlo di terra 4 a 5 pollici alto. In questi spartimenti coperti di paglia ordinaria o di canne di zucchero secche, si collocano tante terrine piene di acqua, quante ne possono contenere. Il ghiaccio si produce in abbondanza essendo calma l'aria ed il cielo sereno; le nubi ed il vento ne impediscono la formazione. Il Sig. Williams ha riconosciuto con l'esperienza che la temperatura dell'aria ambiente è quasi molti gradi sopra di 0, ed una volta il termometro collocato sopra la paglia accanto alle terrine non scese al di sotto di 5°, 6, mentre il ghiaccio rapidamente formavasi ed acquistava molta doppiezza.

DELLE NEBBIE E DELLE NUBI.

522. Le *Nebbie* si formano nell'aria umida, quando la forza elastica del vapore è maggiore della forza elastica *maximum* corrispondente alla temperatura dell'aria. Il fumo, che al di sopra di un vaso ripieno di acqua calda s'innalza, è una nebbia verace: essendo l'aria per esempio a 20° e l'acqua a 60° il vapor si forma con una forza elastica di 144 millimetri, ch'è quella corrispondente a 60°; ma, siccom'esso non può sussistere con questa forza elastica ad una temperatura di 20°, è mestieri che in parte si addensi, finchè la sua forza elastica sia ridotta a diciassette millimetri, ch'è quella corrispondente a 20 gradi di temperatura. Adunque la nebbia tanto sarà più intensa, quanto la temperatura dell'acqua sarà più alta della temperatura dell'aria, quanto l'aria stessa sarà più umida, imperocchè, se fosse saturata, bisognerebbe che tutto il nuovo vapore si condensasse siccome giunge.

Le nebbie, che si formano sul mare, su' laghi, sui fiumi e sulle riviere hanno precisamente la stessa origine: parecchi osservatori con esperimenti diretti si son fatti certi che la temperatura dell'aria, nell'atto della loro formazione, è sempre minore di quella dell'acqua. Nondimeno questa condizione, ch'è sempre necessaria, non sempre basta: quando l'aria è asciutta ed agitata molto, porta seco il vapore e lo disperde nell'atto che si forma, senza che risulti un sensibile condensamento: ma, quando l'aria è tranquilla ed umida già, il vapore lentamente si eleva, e quasi tutto si addensa: questo appunto succede presso tutte le sorgenti durante l'inverno.

Spessissimo si scorgono delle nebbie, in circostanze, che sembrano totalmente diverse. Per esempio nell'atto dello scioglimento del gelo quando la temperatura dell'aria è notabilissimamente più alta di quella dell'acqua; ancora si osservano delle nebbie intensissime formarsi sulle riviere, pur quando sono tuttavia coperte di ghiacci: ma sol le apparenze sono mutate, il principio rimane lo stesso. Di fatto l'aria calda è in questo caso saturata di umidità, e, quando viensi a mischiare con l'aria raffreddata dal contatto del ghiaccio o dal contatto degli altri corpi freddi, il suo vapore si condensa.

La stessa cagione ancora produce le nebbie sulle riviere nell'està dopo le piogge tempestose. L'aria è più calda della superficie dell'acqua, ma è saturata di umidità, e non appena si approssima a' luoghi, dove la freschezza della riviera si fa sentire, è mestieri che il suo vapore si addensi, poichè si raffredda.

Generalmente il miscuglio di due arie saturate di umidità ed inegualmente calde produce essenzialmente nebbia, dappoichè la temperatura media, che ne risulta, è troppo bassa per contenere la media forza elastica del vapore. Per esempio, l'aria saturata di umidità a 5° si mescola coll'aria saturata di umidità a 15°, la temperatura media sarà 10°: ma la forza elastica corrispondente a 5° è 7 millimetri, quella corrispondente a 15° è 13 millime-

tri, dunque la media forza elastica è 10 millimetri, che non può esistere nell'aria a 10° poichè il maximum di forza elastica corrispondente a questa temperatura è solo di 9 millimetri.

Le *Nubi* non sono altro che ammassi di nebbie più o meno dense, sospese a diverse altezze nell'atmosfera, alcune fiate immobili e spessissimo trasportate da correnti di aria o da impetuosi venti. Tutte le nebbie, che si formano sulla superficie terrestre, ne'luoghi umidi, in fondo alle valli, sulle colline, intorno a' monti alti od alle vette nevose, diventano nubi, quando vengono trascinate da' venti senza esser disperse. Ma le nubi possono anche avere un'altra origine; possono direttamente formarsi nel mezzo dell'aria, o per lo scontro di due venti umidi disugualmente caldi o pel condensamento de' vapori, quando abbondantemente si elevano in regioni, che son troppo fredde per contenerle in istato elastico.

Generalmente si ammette che i vapori, i quali costituiscono le nubi, sono *vapori vescicolari*, cioè ammassi di piccoli globetti ripieni di aria umida quasi affatto consimili alle bolle di sapone. Questi globettini si distinguono benissimo ad occhio nudo nelle nebbie, che s'innalzano al di sopra dell'acqua calda, ed in ispezialtà sulla superficie di una dissoluzione nera come il caffè. La lor densità è essenzialmente maggiore di quella dell'aria per cagione della pellicula liquida, che forma il loro inviluppo, ed è malagevole molto a spiegare come possano, malgrado questo eccesso di densità, rimaner sospese nel mezzo dell'aria. Il Sig. Gay-Lussac pensa che le correnti di aria calda, le quali nel dì si elevano incessantemente dalla terra, hanno una grande influenza per determinare l'ascensione e mantenere la sospensione delle nubi. Il Sig. Fresnel supponeva che il calor solare assorbito nel seno delle nubi ne formi delle specie di *montgolfieres*, che s'innalzano ad altezze tanto più grandi, quanto l'eccesso di temperatura è più considerevole. Senza dubbio queste due cagioni sono efficacissime, ma noi finora abbiamo pochissimi dati sulla vera costituzio-

ne delle nubi e sulle proprietà de'vapori o dei diversi elementi, che li compongono, per tentare una compiuta spiegazione di questo fenomeno. Nè con più forte cagione potremmo presentare altro che congetture più o meno ardite sulle cagioni, che determinano la forma delle nubi, la loro estensione, l' innalzamento, il colore e tutte le loro tanto svariate apparenze, di cui deggiono i meteorologisti fare uno studio affatto particolare.

DELLA PIOGGIA, DELLA NEVE, DEL GELICIDIO, DELLA NEVE DURA E DELLA GRANDINE.

523. La quantità di *Pioggia*, che ogni anno cade su di uno stesso punto della terra, è un elemento meteorologico, di cui riesce importantissima la determinazione. Gl'istrumenti, che servono a quest'uso, sono detti *Udometri*; alcuni osservatori li chiamano *Pluviometri*. La figura 383 rappresenta l' udometro ordinario: è un cilindro di rame di 5 in 20 centimetri di diametro; si compone di un recipiente *a* e di un serbatoio *b*. Il recipiente ha un fondo conico forato da un' apertura; ed aggiustasi a movimento di baionetta sul serbatoio. Nel fondo di questo si apre un tubo piegato *c*, la cui lunghezza sporge dall'esterna parete; colà riceve un tubo di vetro *d*, ch'è diviso in parti uguali e serve ad indicare l'altezza del liquido interno. Si misura con esattezza la superficie del recipiente *a*; si misura il serbatoio *b* per sapere la quantità di liquido corrispondente alle diverse divisioni del tubo *d*, e riesce poi facile il dedurne la *quantità di pioggia*, la *doppiezza* cioè *dello strato*, che avrebbe formato in un vaso di fondo piatto ed orizzontale.

L'udometro dell'Osservatorio di Parigi è rappresentato nella figura 384. Il recipiente è in *a*, il serbatoio in *b*, l'acqua cade nel serbatoio dal recipiente mediante un tubo *d*; alquanto di sotto al serbatoio evvi un mastello cilindrico accuratamente misurato, ed avente sul-

la sua parete interna delle divisioni, che indicano l'altezza del liquido in centimetri. Il recipiente ha 76 centimetri di diametro ed il mastello 24 centimetri, di modo che la sua superficie è la 10ª parte di quella del recipiente. Si adoperano eziandio de'piccioli vasi graduati per misurare le piccole frazioni. Questo apparecchio si espone nel mezzo del cortile dell'Osservatorio; ed è allogato su di piccola armadura di quercia, che forma una specie di armadio, nel quale son chiusi il serbatoio, il mastello ed i vasi graduati.

Un simile apparecchio è disposto al di sopra del terrazzo dell'Osservatorio; il suo recipiente è a 28 metri al disopra di quel del cortile; ed è come questo perfettamente libero e scoperto.

Ecco il risultamento delle osservazioni fatte con questi due strumenti dal 1817.

Tavola delle quantità di pioggia in centimetri, che sonosi raccolte nell'Osservatorio di Parigi dal 1817.

Anni.	Nel cortile.	Sul terrazzo.	Anni.	Nel cortile.	Sul terrazzo.
1817	57	51	1828	63	59
1818	52	43	1829	59	56
1819	59	62	1830	64	57
1820	43	38	1831	61	53
1821	65	58	1832	53	45
1822	48	42	1833	59	50
1823	52	46	1834	46	42
1824	65	57	1835	49	44
1825	52	47	1836	71	61
1826	47	41	1837	52	55
1827	58	50	1838	60	52

La media nel cortile è di 57 centimetri, e sul terrazzo di 50 centimetri: s'è attribuita questa differenza a

diverse cagioni, ma tutte le ragioni addotte lasciano ancora a desiderare assai.

Gli osservatori non deggiono applicarsi solo a determinare le quantità medie di pioggia, ma eziandio a comprovare le medie mensili, conciossiachè abbiano una più diretta influenza sopra i ricolti. La differenza fra la temperatura della pioggia e quella dell'aria è anche un punto, che merita un'attenzione particolare.

Non minore attenzione richiedono le abbondantissime piogge: nelle circostanze, che le accompagnano possono ricercarsi le vere cagioni della formazion della pioggia, e forse ancora i principi della costituzion delle nubi.

Intorno al qual subbietto noi qui citeremo alcuni notevoli fatti:

A Bombay in un giorno solo caddero 6 pollici di acqua ovvero 16 centimetri; a Caienna in dieci ore di tempo più di 10 pollici di acqua o 28 centimetri; a Genova con una pioggia risultante a quanto pare da una tromba il 25 ottobre 1822 sono caduti fino a 30 pollici di acqua ovvero 82 centimetri: gli è uno de' più mirabili risultamenti, che possono esser citati in questo genere.

Molto poco si conosce sulla formazione della *Neve*; s'ignora se le nubi, che la producono, siano composte di vapori vescicolari o di particelle già diacciate; ignorasi se i fiocchi si formino direttamente, o se acquistino aumento attraversando gli strati inferiori dell'aria; non si è nemmeno osservato la loro temperatura, nè le circostanze, che ne determinano la forma e il volume.

Le sole osservazioni alquanto compiute, che si abbiano della neve, si riferiscono alle varie forme, che possono imprimere a' fiocchi. Il capitano Scoresby ha avuto l'occasion di fare nelle regioni polari un gran numero d'importanti ricerche sopra questo subbietto; l'opera sua contiene un centinaio di figure diverse, fra le quali noi abbiamo prescelte quelle, che sembrano le

più notevoli: esse sono rappresentate nella tavola XXXI (*fig. 385*).

Consimili osservazioni erano già state raccolte dal Keplero e da altri fisici.

La *neve dura*, che noi abbiamo occasione di osservare ne' climi nostri quasi in ogni anno ne' mesi di marzo e di aprile, senza dubbio ha un'origine simile a quella della neve. È anche dell'acqua gelata, o piuttosto dei piccoli aghi di ghiaccio compressi ed intralciati, che formano una specie di gomitolo molto duro, ed inviluppato alcune volte di uno strato di vero diaccio trasparente. Finora non si sa nulla delle cagioni, che determinano questo fenomeno.

Il *gelicidio* è uno strato di ghiaccio unito, sottile e trasparente, che ricopre la terra ed alcune volte le piante, gli alberi e tutti gli oggetti sparsi sul suolo. Se ne sa la causa: la condizione necessaria alla sua produzione si è che l'aria sia calda abbastanza per dare origine alla pioggia, ed il suolo abbastanza freddo per gelar questa pioggia siccome cade. Sicchè il gelicidio non è altro che pioggia, la qual si congela toccando il suolo.

La *neve rossa*, che vedesi nelle regioni polari, e dovunque ci ha nevi perpetue, deve il suo colore alla vegetazione di un piccolo fungo (*uredo nivulis*), che ha la proprietà di vegetar nella neve, siccome ha dimostrato il Sig. Baüer con esperimenti diretti.

La *Grandine* è nel tempo stesso uno de' flagelli più spaventevoli per le proprietà campestri, ed uno de' fenomeni più fastidiosi pe' meteorologisti.

Prima di ogni altro noi tenteremo di riferire tutte le osservazioni precise, che si son fatte sulla grandine stessa e sulle circostanze, che l'accompagnano, in seguito poi esporremo le ipotesi meno improbabili, che si adducono per ispiegarne la formazione. Noi ci gioveremo di un articolo importantissimo pubblicato su questo soggetto dal Sig. Arago nell'*Almanacco dell'Ufficio delle longitutidini* pel 1828.

La grossezza più comune delle grandini è quasi

quella di una nocella; ne cadono spesso delle più piccole, alle quali poco si pone mente, dappoichè generalmente sono poco dannose; ma spessissimo ne cadono delle più grandi, che rompono e straziano quanto toccano sulla superficie terrestre. Noi porremo da parte i racconti degl' istorici e de' cronichisti; nè ammetteremo con essi che sotto il regno di Carlomagno si siano vedute grandini lunghe 15 piedi, 6 larghe ed 11 doppie, o che sotto il regno di Tippoo-Saëb se ne siano vedute delle grosse come elefanti: se queste esagerazioni cronologicamente non risalgono a' tempi favolosi, bisogna convenire che scientificamente vi risalgano. Ma rimanendo tutto nel limite de' fatti bene osservati, noi troveremo ancora sulle dimensioni della grandine straordinari risultamenti. Quelli, che riferiremo si possono considerare totalmente autentici. La loro esattezza è garentita da fisici conosciuti.

Halley riferisce che a' 9 aprile 1697 cadde nel Flintshire delle grandini, che pesavano 5 once.

Roberto Taylor nel 4 maggio 1697 ha misurato nell' Hartfordshire delle grandini, il cui contorno era 14 pollici; cioè 4 pollici di diametro.

Il 15 maggio 1703 Parent ha veduto ad Iliers nel Perche delle grandini grosse quanto un pugno.

Montignot raccolse a Toul nel dì 11 luglio 1753 grandini di 3 pollici di diametro.

Volta assicura che la notte del 19 a 20 agosto 1787 fra l' enormi grandini, che devastarono la città di Como e sue vicinanze se ne trovavano di alcune pesanti 9 once.

Il Sig. Tessier racconta che a' 13 luglio 1788 in quella spaventevol bufera, che traversò la Francia e i Paesi Bassi vi erano delle grandini grosse 8 once.

Il dottore Noggerath dice che il 7 maggio 1822 a Bonn caddero grandini pesanti da 12 a 13 once.

Le quali testimonianze bastano senza dubbio ad istabilire come un fatto incontrastabile che ne' diversi paesi sono cadute grandini di più di mezza libbra.

La forma delle grandini è variabile: generalmente sono rotonde, alcune volte schiacciate, e nel numero se

ne trovano spesso alcune angolari, o che offrono nella lor superficie delle protuberanze o delle prominenze notevoli.

Le osservazioni sull' interna struttura della grandine sono di un'importanza altissima, dappoichè possono condurre alle cagioni, che determinano il progresso del congelamento; ma quel che hanno finora insegnato si riduce a questo:

Verso il centro delle grandini trovasi generalmente una specie di nodo opaco, molto simile a quella neve più o meno spugnosa, che compone la neve dura (*fig. 386*, num. 1 e 4).

Intorno al nodo si distingue ordinariamente una massa congelata più, o meno spessa, e sensibilissimamente diafana.

Alcune volte in questa massa si scorgono degli strati distinti e nondimeno trasparenti (num. 1 e 4). Altre volte si possono noverare parecchie alternative di strati diafani ed opachi (num. 2, 3, e 6): la qual circostanza è degna di tutta l'attenzione degli osservatori.

In fine si trovano delle grandini, che hanno una struttura *raggiante*, cominciando dal centro (num. 5), ed alcune volte questa notevole struttura inviluppa la struttura interna, ch'è visibilmente concentrica. Al Sig. Deleros è dovuta questa importante osservazione; ebbe opportunità di farla nel 4 luglio 1819 in una bufera notturna, che sparse la desolazione fra molti dipartimenti dell'ovest della Francia.

Il dottore Eversman riferisce che nel 1825 in una orribil tempesta, la quale coprì Ordenbourg e sue ordinanze, si raccolsero molte grandini, il cui centro o nodo era una specie di pirite di forma quadrangolare.

Da gran tempo mi è paruto che importantissima cosa sarebbe il determinare la temperatura della grandine nell'atto che cade. Sol due osservazioni ho avuto l'opportunità di fare di questa specie prima del 1829, che mi hanno data una temperatura compresa fra 3 e 4° sotto zero. Dopo ne ho fatte delle altre, che mi hanno dato — 1/2°, — 1°, e — 3°: quest' ultima appartiene alle

grandini grosse quanto una noce, che hanno sterminato il dipartimento della Senna-ed-Oise nell'està del 1839.

Dopo queste osservazioni sulle dimensioni, sulla forma e struttura delle grandini noi riferiremo quel che si sa delle varie circostanze, che accompagnano o precedono la caduta del flagello.

Ordinariamente la grandine precede le piogge tempestose, ed alcune fiate le accompagna: mai o quasi mai non le segue, soprattutto quando esse hanno qualche durata.

Cade sempre per brevissimo tempo, spesso per qualche minuti, di rado per un quarto d'ora.

La quantità di ghiaccio, che cade in sì poco tempo dalle nuvole, è prodigiosa; alcune fiate la terra rimane coperta di uno strato molti pollici doppio.

Noi qui non diremo i disastri che cagiona; è come una mitraglia che vien dal cielo; opera col suo peso e con l'impulso, che riceve dal vento; parendo certo che non riceva alcun impulso straniero. Si può giudicare de' danni, che producono alla terra, grandini di mezza libbra, od almeno di molte once, animate da una velocità, che può essere quasi tanto grande quanto la velocità del vento.

La grandine a quanto pare cade più ordinariamente il dì che la notte.

Le nubi, che l'apportano, sembra che abbiano molta estensione e profondità, imperocchè spargono generalmente un'oscurità grande; credesi aver notato che hanno un colore particolare grigio o rossastro, e che nel tempo stesso la loro superficie inferiore enormi prominenze presenta, ed il loro orlo de' moltiplici squarci.

Parecchi osservatori opinano che queste nubi sono generalmente pochissimo elevate, ma non pare che siano decisive le ragioni, che danno. Spesso gli abitanti delle alte colline veggono al di sotto di essi le nuvole che coprono il fondo delle vallate di grandini: in tal caso le nubi sono senza verun dubbio poco alte; e si ha pure un'esatta misura dell'altezza loro: ma in altri casi difficil cosa mi sembra il giudicar della loro posizione, siccome al-

cune volte si pratica mercè il tempo, che passa fra l'apparizione del lampo e l'arrivo del fragore del tuono; potendo l'esplosione aver luogo al di sotto delle nubi, che arrecan la grandine e può dirsi ancora che ciò spessissimo accada per cagion di que' piccoli *nugoli messaggeri*, che quasi sempre si osservano nell'atto dell'uragano, e che passano celerissimamente per di sotto alle nubi principali.

Se havvi su questo punto incertezza, non pare che siavene su di un altro fenomeno, che *precede* di qualche istanti la caduta della grandine, ed alcune volte anche di molti minuti: ed è un *romorio* particolare, che si ode per l'aria, e che si rassomiglia al romor che farebbero de' sacchi di noci vivamente e con violenza urtati fra loro.

Da ultimo accompagnano *sempre* la grandine i fenomeni elettrici: ora il tuono si ode prima del romorio, di cui testè parlammo; ora si ode contemporaneamente, od anche mentre le grandini desolano la terra con la lor precipitosa caduta.

Ora per dare un'idea dell'estensione di cielo e di terra, che può occupare questo tremendo flagello, e della velocità, onde può propagarsi, noi qui narreremo alcuni particolari del famoso uragano, che a' 13 luglio 1788 attraversò la Francia e l'Olanda. Esso è indubitatamente il più calamitoso e tremendo che siasi mai veduto ne' nostri climi; ed è forse anche quello che venne meglio osservato (*Mem. dell'Accademia delle scienze*, 1790, pagina 263).

L'uragano si è propagato *contemporaneamente* in due strisce quasi parallele, una orientale ed occidentale l'altra.

La prima è più stretta: la sua larghezza maggiore è di cinque leghe, la più piccola di mezza lega, la sua larghezza media di due leghe ed un quarto.

La seconda è più larga: la sua maggior larghezza è cinque leghe, la più piccola di tre leghe, la media di quattro.

Erano separate da una striscia, ch' ebbe solo ab-

bondante pioggia: la cui larghezza maggiore era sette leghe e mezzo, la minore tre leghe, e la media cinque ed un quarto.

All'oriente della striscia orientale ed all'occidente dell'occidentale vi ebbe anche gran pioggia, ma in una larghezza che non venne determinata.

Queste strisce sono un poco ondeggianti, ma la lor direzione generale va dal sud-ovest al nord-est. Una linea retta tirata da Amboise a Malines forma quasi la metà della striscia orientale, ed un'altra linea retta tirata dall'imboccatura dell'Indro nella Loira fino a Gand forma quasi la metà della striscia occidentale.

In questa lunghezza, ch'è più di cento leghe per ogni striscia, non vi fu alcuna interruzione nell'uragano; dietro precisi ragguagli si può ancora conchiudere che coprì eziandìo più di cinquanta leghe al sud e cinquanta al nord, il che dà a ciascuna striscia una lunghezza totale di più di dugento leghe: la lega è 2, 300 tese.

In questa immensa estensione non tutt'i punti furono tocchi ad un tempo: ma col confronto delle ore si riconobbe che l'uragano aveva un cammino rapidissimo da' Pirenei, ove sembra abbia preso origine, fino al Baltico, dove se ne perdette la traccia.

La velocità sua era sedici leghe e mezzo ogni ora sulle due strisce, ma l'orientale superava un poco l'occidentale.

La grandine non cadde che per sette in otto minuti in ciascuna lega.

Non tutte le grandini avevano la medesima forma: alcune erano rotonde, altre lunghe ed armate di punte; le più grosse pesavano 8 once.

Il numero delle parrocchie devastate fu in Francia di *milletrentanove*; il danno arrecato dietro officiale investigazione fu valutato a 24, 690, 000 franchi.

Fra tutt'i fenomeni noti questo è l'esempio più prodigioso e delle potenze, che operano per adunare il vapore aqueo e mantenerlo sospeso nell'aria, e delle potenze che operano a produrre in mezzo agli estivi calori

un raffreddamento improvviso nelle varie regioni dell'atmosfera.

Dopo aver manifestato quel che si sa degli effetti della grandine e della sua veemenza, tenteremo ora di presentare in poche parole le opinioni date fuori sulle cagioni di essa. Per ispiegar la grandine vi sono due difficoltà, ma grandi e tali, che possiamo dire da ora superano tutti gli sforzi fatti a risolverle.

Trattasi di sapere prima di tutto in qual modo si produce il freddo che gela l'acqua, e poi come una grandine, che ha acquistato bastante volume per venir giù col suo peso, rimanga sospesa ancora nell'aria tutto il tempo, che le abbisogna tuttavia per giungere ad un volume di 12 a 15 pollici di circonferenza.

Sulla prima quistione il Volta aveva pensato che i raggi solari, toccando la superficie superiore di una densissima nube, siano quasi totalmente assorbiti, che una rapidissima evaporazione ne risulta, e ch'essa è, la qual produce freddo bastante a congelar l'acqua. Ma si poteva dire, e credo lo abbia detto prima il Sig. Bellani che, quando un liquido pel calor si evapora, o pel calore ricevuto dal contatto o dal calore raggiante, la sua evaporazione non può diventare più rapida se non sotto condizione che ne diventi la temperatura più alta; ovvero in altri termini che un liquido non può ricevere più calore, e con questo calor stesso raffreddarsi di vantaggio, senza che non sopravvenga un'altra cagione. (12)

In seguito si è detto, ma in un modo vaghissimo che il freddo è prodotto dal vento. Questa idea merita considerazione. Noi abbiamo col fatto veduto che ci ha de' venti, i quali sono accompagnati sempre da un raffreddamento più o meno grande: sono quelli da noi distinti chiamandoli *venti di aspirazione*. Il fatto prova che possono produr sulla terra un abbassamento di 17°, nè vi ha dubbio che nelle regioni elevate non possano produrre un raffreddamento maggiore. Deggiono adunque i meteorologici portare l'attenzion loro su questo punto, per poter comprovare se i venti, che portano le nubi di grandine siano o nò venti di aspirazione. Se il

freddo che arreca le grandini, non ha questa origine, la difficoltà rimane la stessa: altre vie si vuol cercare a risolverla.

Sulla seconda quistione il Volta aveva proposto una teoria, la quale ha avuto una grande celebrità, e ch'è di fatto ingegnosissima. Ammettendo che i nodi delle grandini siano formati, e che abbiavi un freddo bastante ad ingrandirli, Volta suppone che due nubi vaste cariche di elettricità contrarie siano disposte l'una sull'altra; nel qual caso le grandini, piccolissime ancora, sull'inferiore nube cadendo, vi proverebbero due effetti: 1° penetrando ad una certa profondità, si coprirebbero di un altro strato di ghiaccio, poichè la temperatura è bassissima; 2° si elettrizzeranno della stessa elettricità della nube, e saranno da essa *respinte*, mentre sono *attirate* dalla nube superiore. In tal modo risalendo malgrado il lor peso giungeranno alla nube superiore, dove proveranno due effetti consimili; poi di nuovo ricadendo nell'inferiore verranno nuovamente alla superiore respinti, e potranno così *fare molte gite* un grandissimo numero di volte, esattamente come rappresenta l'esperienza da noi riferita. Ma ben presto, o che le grandini diventano troppo pesanti, o che le nubi perdano l'elettricità loro, ovvero si trovino trasportate dal vento a distanze assai grandi; non più sarà bastante la cagione, che mantiene la grandine sospesa nel mezzo dell'aria, e la si vedrà cadere all'istante quasi in massa.

Il Volta tentava pure d'indicare le cagioni, che possono determinare la formazione di due nubi sovrapposte e cariche di contrarie elettricità; ei la trovava: 1° nella proprietà che attribuiva a' raggi solari di determinare una pronta evaporazione; 2° nella proprietà, che attribuiva a'vapori di elettrizzarsi negativamente formandosi, e positivamente addensandosi. Dietro queste ipotesi concepiva che al di sopra di una gran nube colpita dal sole si elevi una colonna di vapore elastico caricata della stessa elettricità della nube, e che questo vapore giunto una volta ad una regione molto alta e quindi assai fredda per condensarsi, si condensi col fatto per for-

mare un' altra nube caricata di elettricità contrarie. Queste ipotesi sono inammissibili: ma, siccome costa dal fatto che le nubi tempestose ora son positive ora negative, e siccome il moto di *va e vieni* delle grandini è fondato solo su questo fatto, rimane ad esaminare s'è possibile in sè. Ora si son fatte molte obbiezioni contro siffatta possibilità: molte di esse son mal fondate, ma queste due mi sembrano di un gran peso.

1° Come può essere che una potenza elettrica, la qual non esercita punto la sua azione in un modo *improvviso ed istantaneo* sia bastante di sollevare un pezzo di ghiaccio di mezza libbra. Come succede che la scintilla non scocchi fra questo pezzo e la nuvola? Tutto sembra indicare che a ciò si richiederebbero proprietà elettriche diverse dalle conosciute.

2° Se le due nubi sovrapposte sono fortemente elettrizzate, siccome debbono essere per sollevare pesanti masse, e le grandini fanno molte gite nello spazio che le separa, come accade che l'elettricismo non scorra subito da una nube sull'altra? Forse le grandini non formano tra le nubi una specie di catena di comunicazione che ad alto grado favorisce l'eplosione del lampo, e come si scorge nella stessa esperienza, che si fa per imitar la gragnuola con palle di sughero?

Le quali obbiezioni, se non distruggono la teoria del Volta, almeno la possono recare in dubbio, e prevenire gli osservatori ch'evvi ancora altro a cercare per ottenere sopra tal punto tutta la verità.

Allato alla teorica del Volta un'altra se ne presenta: si può supporre ch'essendo il raffreddamento prodotto dal vento, la potenza del vento sia pure quella, che trascina orizzontalmente le grandini, o molto obbliquamente almeno nell'atmosfera; che in tal modo percorrono quindici o venti leghe, e che non è mestieri, che stiano lunghissimo tempo sospese in mezzo a nubi densissime e freddissime per giugere all'enorme mole, che alcuna fiata hanno. Sicchè una medesima cagione determinerebbe la formazione e l'accrescimento della gragnuola. In quanto all'elettricità, che accompagna sem-

pre questo fenomeno, sarebbe un effetto e non una causa: è impossibile che il cumulo di vapore necessario ad ingenerar la gragnuola possa avere effetto senza un grande sviluppo di elettricismo, dappoichè tutte le nuvole, che vanno a condensarsi nello stesso foco dove la gragnuola si forma, vi vanno con un elettricismo positivo o negativo, che acquista una gran tensione dal condensamento.

Adunque in ultimo risultamento si vede che il fenomeno della gragnuola è inviluppato ancora di molta oscurità, e che tuttavia bisognano buone e numerose osservazioni per ispiegarlo in tutt'i suoi particolari.

Piogge di sangue, piogge di ceneri, ecc. Per dare un'idea delle circostanze, che qualche volta accompagnano queste meteore, noi sceglieremo ad esempio la pioggia rossa, che cadde il 14 marzo 1813 nel regno di Napoli e nelle due Calabrie. Il Sig. Sementini ci ha ragguagliati del fenomeno in questo modo.

« Il 14 marzo 1813 in forza di un vento di est, che da due giorni soffiava, gli abitanti di Gerace scorsero una densa nube innoltrarsi dal mare sul continente. Due ore dopo mezzodì il vento calmossi; ma già la nube copriva le prossime montagne, ed incominciava a frastornare la luce del sole; il suo colore in prima di un rosso pallido diventò poi di un rosso igneo. Allora la città fu immersa in tenebre tanto dense, che verso le ore quattro furono costretti di accendere dentro alle case le candele. Il popolo atterrito e dall'oscurità e dal color della nube corse in folla a far nella cattedrale preghiere pubbliche. L'oscurità venne sempre crescendo, e tutto il cielo parve un ferro rovente; cominciò il tuono a romoreggiare, ed il mare, quantunque sei miglia lontano dalla città, accresceva lo spavento co'suoi muggiti; cominciarono allora a cadere grosse gocce di pioggia rossastra, che alcuni riguardavano come gocce di sangue, altri come di fuoco. Infine con l'approssimar della notte l'aria si venne schiarando, il fulmine ed il tuono cessarono, ed il popolo riacquistò la sua consueta tranquillità.

» Senza mosse popolari, e con alcune differenze di più o di meno, lo stesso fenomeno di una pioggia di pol-

vere rossa ebbe luogo non solo nelle due Calabrie, ma eziandio nell'opposta estremità degli Abruzzi.

» Questa polvere ha un colore di un giallo di cannella ed un sapore poco notabile di terra; è oleosa al tatto, tanto n'è grande la tenuità; sebbene colla lente vi si discernano de' piccoli corpi duri somiglianti al perossene, ma che sono stranieri alla polvere, e vi sono accidentalmente mischiati, nel raccogliersi dal terreno. Il calor la imbrunisce, poi la rende del tutto nera, ed infine, se diventa più intenso, l'arrossisce. Dopo l'azione del calore anche ad occhio nudo fa scorgere una gran quantità di piccole lamine brillanti, che sono della mica aurina: essa allora non fa più effervescenza con gli acidi, ed ha perduto circa un decimo del suo peso. La sua gravità specifica, quando è stata privata di corpi duri, e di 2, 07; ed è composta di selce 33, 0; allume 15, 5; calce 11, 5; cromo 1, 0; ferro 14, 5; acido carbonico 9, 0. La perdita è dovuta ad una sostanza resinosa di colore giallastro, che si ottiene trattando la polvere con l'alcool, e facendola evaporare a secco; corrispondendo il peso del residuo moltissimo dappresso alla perdita provata nell'analisi. Questa materia resinosa comunica alla polvere la proprietà di bruciare col nitro. » (*Giorn. di Fisica, etc., decade seconda.* I. 28). (13)

CAPITOLO III.

Della luce meteorica.

524. I fenomeni meteorologici appartenenti alla luce troppo sono numerosi e svariati, perchè potessimo partitamente svilupparli in questi saggi. Ci occuperemo di quelli soltanto, la cui teorica pare compiuta abbastanza.

MIRAGGIO.

525. *Miraggio osservato in Egitto.* — Quando si guardano degli oggetti lontani, spesso accade, in certe circostanze, che diano molte immagini dritte, oblique o al rovescio, e sempre più o meno alterate ne' loro contorni. L'apparenza di queste immagini, senza riflessore visibile che le produca; costituisce i fenomeni del *miraggio.*

Prima di ogni altro noi daremo la descrizione di questi fenomeni quali si presentano nelle pianure di Egitto.

Il suolo del Basso-Egitto forma una vasta pianura, sopra la quale le acque del Nilo si spandono nel tempo dell' inondazione. Sulle rive del fiume, e fino ad una gran distanza verso i deserti o all'oriente o all'occidente, di tratto in tratto si scorgono delle piccole prominenze, sulle quali s' innalzano gli edifici o i villaggi. Nei tempi ordinari l'aria è calma e purissima: al levar del sole gli oggetti lontani si distinguono con perfetta chiarezza: allora l'osservatore può abbracciare un vasto orizzonte, che non ha niente di monotono malgrado la sua uniformità: ma, quando il calore del giorno si fa sentire, quando la terra è scaldata dal sole; gli strati inferiori dell' aria partecipano dell' alta temperatura del suolo, numerose correnti si stabiliscono con maggiore o

minore regolarità; ne risulta nell'aria una specie di tremolio ondulatorio sensibilissimo all'occhio, e tutti gli obbietti lontani danno immagini non distinte, che pare si rompano e si ricompongano ogni momento. Questo fenomeno, che si osserva pure ne'nostri climi al tempo degli estivi calori, non è ancora il fenomeno del miraggio. Se il vento non soffia e se gli strati di aria, che stanno nella pianura, rimangono perfettamente immobili, mentre si riscaldano al contatto della terra, il fenomeno del miraggio si sviluppa allora in tutta la sua magnificenza; l'osservatore, che mira da lungi, ancora discerne l'immagine diretta delle alture, de' villaggi e tutti gli oggetti alquanto elevati: ma di sotto a questi oggetti egli vede l'immagine loro rovesciata, e quindi finisce di vedere anche il suolo sul quale stanno. Così tutti gli oggetti elevati pare come se stessero nel mezzo di un lago immenso, e l'aspetto del cielo compie questa illusione, dappoichè lo si vede, come vedrebbesi per riflessione sulla superficie di un'acqua tranquilla; siccome si va innanzi, scopresi il suolo e la terra bruciante nello stesso luogo, dove credevasi vedere l'immagine del cielo o di alcun altro obietto; lungi poi vedesi per d'innanzi lo stesso quadro sotto un'altro aspetto. Questo fenomeno venne spesso osservato durante la spedizione dell'armata francese in Egitto. Spettacolo nuovissimo pe'nostri soldati, ed ad un tempo illusione molto crudele. Quando eglino sopra pianure brucianti scorgevano da lungi il riflesso del cielo, l'immagine rovesciata delle case, delle palme e tutti gli oggetti dell'orizzonte, non potevano dubitare che tutte siffatte immagini non fossero in qualche distanza riflesse sulla superficie di un lago. Defaticati da marce sforzate, sotto l'ardore del sole, in un aere pregno di sabbia essi correvano alla sponda; ma questa fuggiva loro davanti: era l'aria riscaldata del piano, che prendeva l'apparenza dell'acqua, e dava questa immagine riflessa del cielo e tutti gli oggetti alti dal suolo. I dotti della spedizione testimoni di questo fenomeno ebbero con tutta l'armata un istante d'illusione, ma questo fu breve. Monge ne

scoprì la cagione immantinente, e tutte ne sviluppò le circostanze. È un gioco particolare della rifrazione, siccome ora vedremo.

526. *Spiegazione del miraggio.* — Supponiamo che *a b* rappresenti la superficie orizzontale del suolo (*fig. 394*), l'esperienza prova che per effetto del calore gli strati inferiori dell'aria possono acquistare una densità crescente a misura che elevasi, che questa densità diventa ad una certa altezza quasi costante, poi dopo decresce, conforme alle leggi ordinarie della costituzione dell'atmosfera. Ciò posto immaginiamo un punto elevato *h*, ed esaminiamo in qual modo dee la sua luce essere modificata per giungere all'occhio, che noi supponiamo situato in *p*. A prima vista si scorge che l'occhio vedrà un'immagine diretta del punto *h* pei raggi prossimi di *ph*: in verità questi raggi non verranno mai in linee assolutamente rette, dappoichè l'aria tra *p* ed *h* non ha assolutamente la medesima densità; ma essi non potranno soffrire che lievi inflessioni, e ne risulterà solamente una certa irregolarità ne'contorni dell'immagine.

Ma fra'raggi, che il punto *h* manda in tutt'i versi, ve ne sarà di quelli, che seguiranno il cammino *h i k l m n o p*, e che per conseguenza daranno nella direzione *p o z* un'immagine rovesciata dell'oggetto, come se ci fosse riflessione su di uno specchio. Di fatto il raggio *hi* per esempio obbliquamente giungendo per penetrare nello strato *c'* ch'è *meno rifrangente* dello strato *c*, nel quale si trova, si dee rifrangere *allontanandosi* dalla normale. Per la stessa ragione devesi allontanare ancora dalla normale passando dallo strato *c* nello strato *c''*, ed allontanarsene ancora, da questa passando nella seguente. Sicchè aumentando senza posa l'obbliquità, bene potrà succedere che infine il raggio più non possa passare dal mezzo rifrangente, in cui è, nel mezzo meno rifrangente al qual si presenta; allora si dovrà per forza riflettere, e continuando il suo cammino verso l'occhio, giungerà nella direzione *m n o p*; adunque l'occhio vedrà il punto *h* nella direzione *p o z*, ed in una

posizione quasi simmetrica al punto *h* rispetto al piano *m v*, sul quale si reputa che faccia riflessione.

Qui il cammino del raggio è segnato in linea rotta; ma, siccome la densità va crescendo di gradi insensibili dalla superficie, si comprende che il raggio devia ancora d'insensibili gradi, e che segue una linea curva e non una linea rotta.

Questo è il principio della spiegazione del miraggio data da Monge nella presenza stessa del fenomeno; la è stata pubblicata nelle Memorie dell'Istituto di Egitto.

Ecco un'esperienza, che imita debolmente il miraggio, ma può nondimeno valere a farne intendere la spiegazione.

cc' (*fig. 393*) è una cassa di latta avente circa 1 metro di lunghezza sopra 15 in 18 centimetri di altezza e di larghezza; riempiesi di carbone acceso, si sospende all'altezza dell'occhio, e per un raggio visuale, che rade gli orli della cassa, guardasi una mira alquanto lontana come *m*. Allora si vede un'immagine *diretta* della mira nella direzione *p m*, poi un'altra rovesciata nella direzione *p m'*. E questa seconda immagine è consimile alle immagini rovesciate del miraggio; essa è prodotta manifestamente dalla riflessione della luce sopra gli strati di aria calda prossimi alla parete della cassa, e non da una riflessione, che avrebbe luogo sulla parete medesima. È indifferente pel successo dell'esperienza che il raggio visuale rada una parete laterale o la superiore.

Wollaston ha immaginato ancora un'altra esperienza, con la quale si produce il miraggio in un liquido. Si prende un piccol vaso di cristallo di forma rotonda o quadrata, con tutte le convenevoli cure vi si sovrappongon due liquidi di disuguale densità, che possono lentamente combinarsi vicino allo strato di sovrapposizione: l'acqua e l'acido solforico, l'acqua e l'alcool, l'acqua e lo sciroppo di zucchero concentrato possono ben servire allo scopo. Quando la combinazione è operata ben parallelamente in uno strato di sufficiente doppiezza, si accosta l'occhio rimpetto a questo strato per guardare una piccola mira disposta nella parete opposta, e vedras-

si ancora un'immagine dritta di questa mira ed un'altra rovesciata.

527. *Fenomeni del miraggio osservati in differenti luoghi ed in diverse circostanze.*— Il dottore Vince ha osservato a Ramsgate un effetto notabile del miraggio. Quando da Ramsgate si guarda dal lato di Duvre con un tempo buono si scorgono le cime delle quattro più alte torri del castello di Duvre; il rimanente dell'edificio è nascosto da una collina, la cui vetta trovasi quasi a dodici miglia dell'osservatore; la metà di questo spazio è occupato dalla superficie del mare. Il dottore Vince fissato a Ramsgate quasi 70 piedi al di sopra della superficie del mare, fu molto meravigliato il dì 6 agosto 1806, quando, guardando verso sette ore della sera dal lato di Duvre, vide non solo le quattro torri del castello, come il solito; ma il castello stesso in tutte le sue parti e fino alla sua base. Vedevasi, egli dice, tanto distintamente, che se fosse stato tutto di un pezzo trasportato sulla collina dal lato di Ramsgate.

Lo stesso fisico ha pubblicate molte altre osservazioni da lui fatte dallo stesso luogo, e particolarmente guardando sul mare con un buon telescopio i vascelli, che si accostavano o si allontanavano da Ramsgate. Noi citeremo ancora queste due osservazioni.

Un giorno vide una nave, ch'era precisamente all'orizzonte: distinguevala nitidamente, ma ne vide nel tempo stesso un'immagine rovesciata, regolarissima e disposta verticalmente al di sopra di essa, in modo che la cima dell'albero reale e quella dell'albero dell'immagine rovesciata erano in coincidenza (*fig. 395*).

Un'altra volta sempre nel mese di agosto, e verso sera, vide un altro effetto: l'immagine della nave era rovesciata, ma al di sotto di essa (*fig. 396*).

Il capitano Scoresby ha avuta l'occasion di osservare un gran numero di consimili fenomeni ne' mari della Groenlandia. Appena il sole si mostra in que' spazi, gli strati di aria, che stanno sul suolo o sulla superficie del mare, giungono prontamente ad una temperatura molto più alta degli strati di aria, che sono a qual-

che piedi di altezza, e le rifrazioni straordinarie si presentano sotto le più svariate e fantastiche apparenze.

I Sigg. Biot e Mathieu analoghe osservazioni hanno fatte a Dunchcrque sopra le rive del mare, nella spiaggia sabbiosa, ch' estendesi appiè del forte Risban. Il Sig. Biot ne ha data la distinta teorica nelle Memorie dell' Istituto pel 1809; egli ha mostrato che, cominciando da un certo punto *t*, preso in qualche distanza davanti all' osservatore *o* (*fig. 397*), si può concepire una curva *t c b*, tale che tutt' i punti, che stanno al di sotto di essa, rimangono invisibili, mentre tutt' i punti, che stanno al di sopra fino ad una certa altezza danno due immagini: una ordinaria e diretta, l' altra straordinaria inferiore allo strato e rovesciata. Sicchè un uomo, che si allontana dall' osservatore, partendo dal punto *t* gli offre le successive apparenze rappresentate sulla figura 397.

I Sigg. Soret e Jurine in settembre 1818 a dieci ore del mattino hanno osservato sul lago di Ginevra il notevole fenomeno rappresentato nella figura 398. La curva *abc* rappresenta la riva orientale del lago; una barca carica di botti avente le vele spiegate, era in *p* rimpetto alla punta di Bella-Riva, e faceva rotta verso Ginevra; gli osservatori la vedevano col telescopio nella direzione *gp*; essi erano sulla spiaggia del lago nel secondo piano della casa di Jurine a circa due leghe di lontananza. Mentre la barca prese l' una dopo l' altra le posizioni *q, r, s* se ne vide un' immagine *laterale* sensibilissima in *q', r', s'*, la qual si avvanzava secondo la barca medesima, ma pareva allontanarsi a sinistra di *gp*, mentre la barca se ne allontanava a diritta. Quando il sole rischiarava le vele, questa immagine era splendente abbastanza per scorgerla ad occhio nudo.

La direzione de' raggi solari nel momento dell' osservazione è indicata in *l y*.

Basta conoscere la posizione de' luoghi per vedere immantinente ch' è un fenomeno di *miraggio laterale*: a destra di *gp* l' aria era rimasta nell' ombra per un tratto della mattinata; a sinistra per lo contrario era

stata riscaldata dal sole; la superficie di separazione dell'aria calda e dell'aria fredda doveva essere quasi *verticale* in una piccola estensione al di sopra dell'acqua; dall'una e dall'altra parte di questo strato erasi fatto un miscuglio di densità crescente, andando da sinistra a destra, e colà producevasi, negli strati verticali, ciò che ordinariamente si produce negli strati orizzontali sul suolo.

Questi esempi saranno bastevoli a dare un' idea delle apparenze infinitamente svariate o notabilmente bizzarre; che possono risultare dalle straordinarie rifrazioni, che la luce prova in strati di aria, le cui densità cangino rapidamente. Noi abbiamo supposto che questi cangiamenti si compivano in istrati piani e regolari, ma si comprende che per un gran numero di cagioni spesso potranno compiersi in istrati curvi ed irregolari: allora le immagini prodotte dal *miraggio* saranno in tutt' i sensi sfigurate, ora allargate, ora allungate fuor di misura, e qualche volta sparse, come se l'obbietto stesso in mille pezzi fosse rotto. Non può recarsi in dubbio che il fenomeno noto sotto il nome di *Fata Morgana* non sia effetto del miraggio. Lo si osserva in Napoli, a Reggio, e sulle coste della Sicilia; in certi momenti il popolo corre in folla sulla riva del mare per godere quel singolare spettacolo: a gran distanza nell'aria si veggono ruine, colonne, castelli, palagi, ed un gran numero di oggetti, che paiono muoversi, e che in ogn' istante mutano aspetto. Tutto quest' incantesimo non è altro, che una rappresentanza di alcuni obbietti terrestri, che nell'ordinario stato dell'atmosfera sono invisibili, e diventano appariscenti, e mobili, quando i raggi di luce, che mandano, si muovono in linee curve negli strati di aria di disuguali densità. (14)

ARCOBALENO.

528. *Spiegazione del fenomeno dell' arcobaleno.* — Ognuno ha potuto osservare che, per vedere un arcobaleno, bisogna volgere le spalle al sole, e guardare una nube, che dia la pioggia, e trovisi nel tempo

stesso vivamente illuminata dalla luce solare. Allora l'arco colorito, che si manifesta nell'aria, può considerarsi come formante parte della base di un cono, il cui vertice è nell'occhio dell'osservatore, e l'asse prolungato per di dietro va precisamente a passare pel centro del sole. È agevole di rendersi certo che questa condizione è sempre adempiuta, tanto per le belle iridi, che dà la pioggia delle nubi, quanto quelle meno compiute nella loro estensione, che dà la pioggia delle cascate o quella de' zampilli di acqua; essa indica pure la posizione, che si deve scegliere in questi ultimi casi per veder brillare i colori in tutte le goccette ondeggianti, che sono formate dalla caduta dell' acqua, e poscia disseminate dal vento.

Dopo tutte queste apparenze del fenomeno, non si può dubitare che non sia prodotto da una particolar modificazione, che la luce solare prova nelle gocce di acqua. E noi col fatto vedremo che i colori, che si scorgono, sono arrecati all'occhio da raggi procedenti direttamente dal sole dopo essere stati rifranti, riflessi e decomposti in quelle piccole particelle acquose, la cui forma è perfettamente sferica.

Per acquistare una giusta idea del cammino de' raggi solari in un cerchio liquido, può farsi questa esperienza:

vv' (*fig. 399*) rappresenta un taglio orizzontale dell'imposta della camera nera, e quella di una picciolissima apertura *o* forata nella sua doppiezza. A qualche distanza dietro di questa imposta ed all'altezza dell'apertura, si dispone un vaso di cristallo perfettamente cilindrico e ripieno di acqua; la figura rappresenta soltanto il taglio orizzontale di questo vaso. Poi si fa entrare un raggio solare nella direzione *oi*, e guardasi per di sopra il suo cammino nell'interno dell'acqua: questo liquido sarà sempre pochissimo limpido, perchè la traccia della luce vi si trovi sensibilmente segnata. E sarà facil cosa di vedere che il raggio percorre il cammino *i, a, b, c, d, e, f,* . . . . . e che in ogn' incidenza sulla parete prova ogni volta una riflessione ed una rifrazione: per virtù delle

riflessioni continua il suo cammino nel liquido, e per virtù delle rifrazioni diminuisce d'intensità dando origine a' fasci emergenti a', b', c', d', e', f'. . . , che tutti sono degli spettri più o meno estesi, come se il fascio avesse traversato un prisma. Dopo quattro in cinque riflessioni questi fasci emergenti avranno ancora una notabile intensità.

Quel che qui accade si riprodurrà indubitatamente in una goccia di pioggia sferica, per quanto picciola sia, dappoichè il primo piano d'incidenza determina in questa sfera un gran cerchio, nel quale il raggio si moverà, come nella sezione del cilindro della precedente esperienza.

Ciò posto, ecco la proprietà fondamentale, su di cui riposa la formazione dell'arcobaleno. Immaginiamo un raggio, ch'esce dopo aver provato un'interna riflessione in b (*fig. 400*): la sua direzione di emergenza ec farà con la sua direzione d'incidenza sa un certo angolo ste, che noi dinoteremo con d; gli è ciò che dicesi la *deviazione*. Se si dinota con i l'angolo d'incidenza san ed il suo eguale oat, con r l'angolo di rifrazione oab ed il suo eguale oba, avrassi evidentemente:

$$oba = bat + bta, \text{ o } r = i - r + \frac{d}{2}, \text{ dal che } d = 4r - 2i.$$

Ora la proprietà, di cui si tratta, è che questa deviazione è capace di un *maximum*. Il che si dimostra con le ordinarie regole del calcolo differenziale, notando che le quantità i ed r, le quali variano insieme, sono tra loro ligate dalla correlazione sen. $i = n$ sen. r; ed in tal modo si trova che questo valore *maximum* della deviazione ha luogo per una incidenza i, determinata dalla correlazione cos. $^2 i = \frac{n^2 - 1}{3}$.

Ammettiamo questi risultamenti del calcolo, e tentiamo soltanto di far intendere come questa proprietà del *maximum* determini la produzione de' colori. Prima di tutto consideriamo la luce rossa. L'indice di rifrazione per questa gradazione dello spettro è $n = 108/81$. Sosti-

tuendo questo valore nella precedente espressione di cos.i, noi ne dedurremo $i = 59° 23' 30''$: cioè che il raggio rosso, che cade sotto questa incidenza, è quello fra tutt'i raggi incidenti, che prova la deviazione *maximum;* e questa deviazione è di 42° 1' 40''. Supponiamo di averne tracciato il cammino, *sabce* (*fig. 400*), e che vogliamo disaminare in seguito il cammino de' due raggi vicini, che cadono l'uno con un'obbliquità un pò minore, e con maggiore l'altro. Poichè i loro raggi emergenti e' ed e'' hanno un deviamento alquanto minore di quello di e, chiaro è che sono sensibilmente paralleli ad e; per conseguenza il piccolo pennello composto di questi raggi emergenti si propagherà senza scemare d'intensità, e potrà in tal modo produrre una viva impressione sull'occhio dello spettatore. Al contrario ogni altro pennello emergente, essendo composto di raggi che *divergono*, diminuisce necessariamente d'intensità allontanandosi, e diventa insensibile alla distanza, in cui l'occhio dello spettatore lo può ricevere.

Questo è il principio, sul quale ora ci fonderemo per ispiegare con la maggior facilità tutte le circostanze, che può presentare l'arcobaleno nella sua grandezza, nella sua forma e nella disposizione de' suoi colori.

Per fissar meglio le idee supponiamo che i raggi del sol cadente rischiarino una nube di pioggia, e che un osservatore sia convenevolmente situato per guardare la nube volgendo al sole le spalle (*fig. 401*). Immaginiamo una linea retta, che passi pel centro del sole e per l'occhio dell'osservatore per prolungarsi infinitamente verso l'oriente: nella nostra supposizione questa linea sarà orizzontale. Immaginiamo poi una seconda linea, che tagli la prima nell'occhio dell'osservatore, e faccia con essa un angolo di 42° 1' 40'', e si prolunghi indefinitamente nella nube. Infine immaginiamo che questa seconda linea giri intorno alla prima senza cessar di adempiere le precedenti condizioni, e descriva così una superficie conica, della quale dobbiamo considerare solo la metà superiore. Questa linea in ciascuna delle sue posizioni scontrerà un gran numero di gocce di pioggia.

Ma fermiamo la nostra mente sopra quelle, che incontra sotto l'angolo di emergenza, che dà il *maximum* deviamento per la luce rossa. Sia una di queste gocce *abc*: il pennello di luce che riceve dal centro del sole è orizzontale e parallelo ad *oh*; in tutt'i raggi che lo compongono havvi un certo raggio *sa*, il quale dopo essere stato successivamente rifranto in *a*, riflesso in *b*, poi rifranto in *c*, va ad uscire nella direzione *ce* con la deviazione maximum: imperocchè, essendo *sa* parallelo ad *oh*, l'angolo *ste* è 42° 1' 40'', come l'angolo *eoh*.

Adunque l'osservatore scorgerà in questa direzione la luce rossa dello spettro.

Quel che abbiamo detto riguardo al centro del sole si applica a tutt'i punti del disco di questo astro; e ripetendo la stessa costruzione per ciascun di essi e particolarmente pe' due orli opposti, che sono dalla terra veduti sotto un angolo di 30', è chiaro che l'osservatore, vedendo una linea rossa per ciascun punto del sole, vedrà per la totalità loro una striscia rossa, che sostiene all'occhio un angolo di 30', come il disco dello stesso sole.

Ora investigheremo la cagione degli altri colori dell'arcobaleno e della lor disposizione.

Per esempio, avendo la luce violetta nel suo passaggio dall'aria nell'acqua un indice di rifrazione di 109/81 è manifesto che il maximum deviamento per esso non è lo stesso che per la luce rossa, anzi corrisponde ad un'altra incidenza. Mettendo per n questo valore nella precedente espressione di cos. ^2i, si trova, $i = 58°$ pel violetto, e $d = 40°17'$.

Sicchè per aver la posizione dell'arco violetto deesi tirare dall'occhio dell'osservatore una linea, che faccia con *oh* un angolo di 40° 17'; e da un'altra parte è chiaro che la striscia violetta sarà veduta come la rossa di una larghezza corrispondente a 30'.

Tutt'i colori intermedi dello spettro daranno eziandio delle strisce della stessa larghezza; ma saranno situate ad altezze intermedie fra quella del rosso e quella del violetto.

Sarà facile determinare col calcolo la vera posizione di tutte le sue strisce, l'estensione in cui si sovrappongono, e per conseguenza le tinte, che debbono risultare verso la metà dell'arcobaleno.

Adunque, come diffinitiva conseguenza di questa discussione, si vede che tutt'i colori dell'iride sono delle superficie coniche più o meno aperte, tutte aventi per asse comune la linea tirata dal centro del sole e dall'occhio dell'osservatore; che il cono del violetto è nell'interno, facendo con l'asse un angolo di 40° 17'; che il cono del rosso è nell'esterno, facendo con l'asse un angolo di 42° 2', e che per conseguenza l'intera larghezza de'colori occupa un'estensione di 1° 45'.

Newton, che il primo ha dato una compiuta spiegazione dell'arcobaleno, ha verificato con l'esperienza tutti questi risultamenti.

In quanto all'estensione dell'arco colorato che si vede, chiara cosa è che dipende dall'altezza del sole al di sopra dell'orizzonte. Nel tramonto del sole l'arco si vedrà all'oriente, e formerà una semi-circonferenza intera per l'osservatore che stesse nel piano; ma più di una potrebbe formarne per chi stesse sulla vetta di un alta montagna, sopra un monte elevato e di poca larghezza. Allevar del sole si riproducono gli stessi fenomeni dal lato di occidente. Più il sole è alto sull'orizzonte e minore l'estensione dell'arco che si scorge. Nondimeno dall'alto di un grande albero di una nave, essendo il sole direttamente nel zenit, uom potrebbe vedersi a'piedi sul mare un arcobaleno di un'intera circonferenza.

Oltre dell'arcobaleno, di cui abbiamo parlato finora, alcune volte se ne osserva un secondo, il quale chiamasi *esterno*, perchè inviluppa il primo. Esso è prodotto dalla luce, che ha provato due riflessioni interne, come si può scorgere nella figura 402.

sabcde è il cammino del raggio, che dà l'iride esterna, esso entra nella direzione *sa* ed esce nella direzione *de*.

Facil cosa è il vedere che il deviamento *ste*, che noi diremo *d'*, viene allora dato dall'equazione:

$$d' = 6r - 2i - 180^\circ.$$

e che il suo maximum corrisponde ad una incidenza determinata da $\cos.^2 i = \frac{n^2 - 1}{8}$.

Facendo i calcoli per la luce rossa e per la violetta si trovano questi risultamenti:

Rosso $i = 71^\circ\ 50'$, $r = 45^\circ\ 27'$, $d' = -\ 50^\circ\ 59'$.
Violetto $i = 71^\circ\ 26'$, $r = 44^\circ\ 47'$, $d' = -\ 54^\circ\ 9'$.

Il segno *meno*, che precede i valori di d', annunzia che i raggi incidenti ed emergenti si tagliano dinanzi dal globetto di acqua.

Sicchè nel secondo arcobaleno il rosso è di dentro ed il violetto di fuori. I colori sono sviluppati sopra una estensione di 3° 10', è una larghezza quasi tripla di quella del primo arco. Da ultimo l'intervallo compreso tra il rosso interno del secondo arco ed il rosso esterno del primo è dato dalla differenza delle corrispondenti deviazioni, è uguale cioè a 50° 59' — 42° 2', ovvero ad 8° 57'.

Newton aveva preso ancora misure esatte per confermare siffatti risultamenti.

Eliminando i ed r fra le tre equazioni, che determinano il primo od il secondo arco, il Sig. Babinet ottiene queste equazioni: pel primo $\text{sen.}^2 \frac{d}{2} = \frac{(4-n^2)^2}{27n^4}$, pel secondo $\cos.^2 \frac{d}{2} = \frac{(n^2-1)(9-n^2)^2}{64n^6}$, che danno direttamente il deviamento mediante l'indice di rifrazione.

Sembra che nelle circostanze oltremodo favorevoli siasi qualche fiata veduto un terzo arcobaleno; ma la sua luce è sempre moltissimo indebolita, dappoichè ha provato un maggior numero d'interne riflessioni nelle gocce di pioggia.

529. Sonovi ancora degli archi *secondari* o *soprannumerari* i quali par che risultino dalle interferen-

ze de' raggi, che han traversato le gocce di acqua con quelli, che non le han traversato nel medesimo numero. Il Sig. Babinet rende sensibili le frange analoghe ai contorni delle iridi o degli archi soprannumerario, dirigendo un tratto di luce sopra un filuzzo di acqua verticale e cilindrico del diametro di 1 a 2 millimetri.

La luna può dar come il sole delle iridi, soprattutto quando è piena e brilla di tutto il suo splendore. Nondimeno accade, anche in tali circostanze che tutt'i colori siano sempre pallidissimi, paragonandoli a' colori delle iridi solari.

ALONI, PARELI, CERCHIO PARELICO, CORONE, OMBRE DIVERSE, STELLE CADENTI, AREOLITI.

530. Gli *aloni* sono cerchi coloriti, che hanno il rosso al di dentro, ed appariscono intorno al sole in certe stagioni dell'anno. Generalmente il loro orlo interno è ben diffinito, mentre nel tempo stesso l'esterno è più incerto e men colorato. Il semi-angolo visuale del più piccolo di questi cerchi è di 22 a 23°, ed il semiangolo visuale del più grande è di circa 46°; di rado interviene che si possa vedere contemporaneamente l'alone di 23°, e quello di 46°. Mariotte aveva dato di questo fenomeno una spiegazione, ch'è stata confermata da tutte le ulteriori osservazioni: essa si fonda sulla presenza nell'atmosfera di una moltitudine di piccoli aghi di ghiaccio, che rifrangono la luce solare. Di fatto il ghiaccio si cristallizza, formando de' regolari prismi triangolari, le cui facce fanno tra loro degli angoli di 60°, e sono perpendicolari alle basi. Ora ammettendo che questi prismi abbiano i loro assi orizzontali, e che le lor facce siano convenevolmente rivolte, è facil cosa il vedere che il *deviamento minimum*, che imprimono a' raggi solari incidenti è di circa 23° per la luce rossa, dappoichè giusta la formola si ha sen. $\left(\frac{d+60}{2}\right)$: sen. $30 = 108:81$ o quasi, non conoscendosi esattissimamente l'indice di rifrazione del ghiaccio: questi raggi, che hanno prova-

to il deviamento minimum, sono analoghi a'*raggi efficaci* dell'arcobaleno, poichè sono sensibilmente paralleli, e giungono all'occhio senza scemare d'intensità. Sicchè questa ipotesi spiega ad un tempo la formazione dell'alone di 23°, la disposizione de'suoi colori e delle sue dimensioni. Il Sig. Arago si è da un'altra parte renduto certo che la luce è polarizzata col fatto, come la luce rifranta e non come la luce riflessa.

L'alone di 46° si spiega ammettendo che i prismi hanno il loro asse obbliquamente situato, in modo che l'angolo rifrangente sia allora l'angolo retto, che fanno le facce laterali con la base del prisma. In fatti il deviamento minimum per questo angolo rifrangente di 90° è di circa 46°, come indica l'osservazione.

Il *cerchio parelico* è un cerchio bianco orizzontale, *che passa pel sole* e forma una striscia molto vivamente rischiarata, la cui altezza è uguale al diametro dell'astro; quasi mai non accompagna l'alone. Il Sig. Babinet considera il cerchio parelico come formato dalla riflessione, che prova la luce solare sulle facce verticali degli aghi di ghiaccio disposti in tutt'i versi: si comprende in fatti che, prendendo la verticale dell'osservatore come asse di un cono retto, avente per generatrice la linea che congiunge l'occhio dell'osservatore al centro del sole, sarà possibile sempre di tirare per la generatrice primitiva e per un punto qualunque della base del cono, supposti nella regione degli aghi ondeggianti di ghiaccio, un piano perpendicolare ad una piccola faccetta verticale, che passa per questo punto della base del cono e convenevolmente orientata, perchè questo piano contenga gli angoli d'incidenza e di riflessione, e perchè questi angoli siano eguali. Nondimeno rimane a discutere partitamente le diverse apparenze del cerchio parelico ne'suoi vari punti, e sventuramente rarissime occasioni si hanno di osservarlo.

Quando il cerchio parelico è compiuto, penetra nell'interno degli aloni, e li taglia in due parti uguali: nel tempo stesso osservasi ancora qualche volta una striscia bianca, che taglia verticalmente gli aloni, for-

mando in tal guisa col cerchio parelico una croce più o meno ben definita nell'interno dell'alone di 23°; formando per conseguenza il sole il centro di questa croce. Compiuto il fenomeno si osservano finalmente un pò al di fuori dell'alone di 23° e sui lati della croce delle immagini vivacissime e colorite del sole; poi vedesene ancora un' altra, che si dice *antelia* o sole falso, conciossiachè si trovi sul cerchio parelico nel punto diametralmente opposto al vero sole. Il Sig. Babinet ha tentato di spiegar tutte queste apparenze, ma non ha pubblicato i particolari delle sue ricerche su tal subbietto (*Conti renduti* 1837).

531. Le *corone* a primo aspetto hanno l'apparenza degli aloni, ma ne differiscono essenzialmente in questo che *il rosso è al di fuori ed il violetto al di dentro*, ed in questo altro che il semi-angolo visuale della prima corona sempre pare che sia compreso fra 1° e 2°; e prendendo questo semi-angolo per unità, quelli delle altre corone seguono la serie de' numeri 2, 3, 4, ecc., siccome con molte osservazioni ha dimostrato il Sig. Delezenne. Sembra questo fenomeno analogo a quello delle corone, che si osserva guardando il sole od una candela con un vetro coperto di licopodio. Ma molto ancora mi pare che lasci a desiderare la spiegazione teorica di queste apparenze: nondimeno non senza prò si vedrà l'esposizione del teorema, sul quale il Sig. Babinet, fonda la spiegazione che ne dà (*Conti renduti* 1837). Sullo stesso principio appoggiandosi il Sig. Babinet spiega eziandìo il fenomeno delle ombre argentine, osservate dal Sig. Necker di Ginevra; i colori de' fili di aragni e quelli degli obbietti delicatissimi esposti sotto certe condizioni a' raggi del sole. (15)

532. In questi ultimi tempi le *stelle cadenti* hanno attirata l' attenzione di un gran numero di osservatori: si è comprovato che generalmente esse sono al di fuori degli ultimi confini dell'atmosfera, e che spesso la distanza loro s' innalza a più di dugento leghe, che la lor velocità varia da sei a dieci leghe per secondo; che poche notti vi sono, in cui un osservatore, inteso ad

esplorar solamente un quarto di cielo, non ne osservi almanco sei od otto in ogni ora; che in certe epoche dell'anno ed in ispezialtà dal dì 11 a' 13 novembre e da' 10 a' 12 agosto il numero delle stelle cadenti è molto più considerevole, e ch'esse acquistano allora una determinata direzione. I quali risultamenti inducono a credere che le stelle cadenti sono de' piccoli corpi celesti sparsi in maggiore abbondanza in certe regioni del cielo, dove si muovono con rapidità, e che ci diventan visibili, quando la terra col suo moto di rotazione intorno del sole, si accosta alle regioni, dove par si concentrino le orbite di questa specie di corpi. Su tal subbietto può consultarsi la memoria importantissima del Sig. Quetelet (*Catalogo delle principali apparizioni delle Stelle cadenti* 1839).

533. Gli *areoliti*, la cui caduta è stata comprovata da tante osservazioni autentiche, sembrano avere analogìa con le stelle cadenti.

Dal principio del secolo il numero degli areoliti può stimarsi di circa un centinaio, che sono caduti solo in Europa, e la cui caduta è stata ben confermata. Si può risguardare come un fatto generale che queste meteore, giunte una volta vicino alla terra, si presentano sotto l'apparenza di un globo di fuoco più o meno voluminoso animato di una grande velocità, che fa il suo cammino alle volte tortuoso segnato di un trascino di luce, che perdura durante alcuni secondi o alcuni minuti ancora; questo globo scoppia o nell'atmosfera o nel punto del suo contatto con la terra, ed i frammenti ne sono sparsi a diverse distanze. Tutt'i frammenti raccolti sono *in tutto* o *in parte* ricoperti di uno strato di apparenza vitrea, e l'analisi chimica ha comprovato che la lor composizione differisce da quella di tutt'i minerali noti, che il ferro ne forma essenzialmente parte e spessissimo il nickel. (16)

CAPITOLO IV.

Dell' Elettricismo atmosferico.

534. *Prima scoperta sull'elettricismo atmosferico.* — Ottone da Guericke borgomastro di Magdeburgo e celebre inventore della macchina pneumatica fu il primo a discoprire qualche apparenza di luce elettrica. Il dottore Wall quasi nello stesso tempo, eccitando l'elettricismo sopra un gran cilindro di ambra, osservò una scintilla più viva, ed un rumore molto più forte; e, cosa degna di osservazione, questa prima scintilla prodotta dalla mano degli uomini fu subito paragonata ai lampi del fulmine: questa luce, e questo scoppiettìo, dice Wall, nella sua Memoria (*Trans. filosof.*), parevano rappresentare in certo modo il tuono ed il lampo. La somiglianza era manifesta, ci voleva solo immaginazione a scorgerla: ma per dimostrarne la verità, per trovare in un fenomeno tanto piccolo le cagioni, e le leggi del maggior fenomeno della natura, bisognava una serie di prove, le quali non si potevano, se non da un genio superiore, aspettare. Nondimeno molti fisici cercavano queste prove in approssimamenti più o meno ingegnosi: alcuni osservavano che la scintilla è come il lampo *adunca*, altri pensavano che il tuono nelle mani della natura è quel che è l'elettricismo fra le nostre: diceva l'Abbate Nollet. « Confesso che questa idea, se fosse ben sostenuta, molto mi piacerebbe; e per sostenerla quante speciose ragioni ec. » tutto in fine riducevasi a ragionamenti, che non potevano conchiudere niente, conciossiachè in fisica la sola esperienza debba dare le sue conclusioni. Mentre così ragionavasi sopra questa gran quistione nell' Europa ed in tutto il dotto mondo vecchio, nell'America, presso un popolo nuovo noto appena nelle scienze si facevano esperimenti, e questi erano direttamente legati al fulmine. Francklin rin-

veniva il mezzo per farlo scendere dal cielo per interrogare della sua origine esso medesimo. Dopo aver fatto molte scoperte elettriche, particolarmente sulla bottiglia di Leida e sul potere delle punte, venne al Francklin l'ardito pensiero di andare a cercare l'elettricismo in seno alle nubi: da alcune decisive sperienze aveva egli conchiuso che un' asta di metallo aguzzata elevata ad una grande altezza in cima d' un edificio doveva ricevere l'elettricismo dalle nubi tempestose. Egli aspettava con somma ansietà la costruzione d' un campanile, che in quel tempo si doveva elevare in Filadelfia; ma stanco di aspettare ed impaziente di eseguire uno esperimento, che doveva togliere tutt'i dubbi, ebbe ricorso ad un altro mezzo più sollecito, e non meno ne' risultamenti sicuro. Siccome non si trattava di altro che di estollere un corpo nella regione del tuono, cioè ad una gradissima altezza nell' aria, Francklin immaginò che il cervo-volante, che serve di trastullo ai fanciulli, gli poteva essere atto al pari d' un campanile qualunque. Egli adunque apparecchiò due bastoni in croce, un fazzoletto di seta, una corda di convenevole lunghezza, e profittando del primo temporale se ne andò ne' campi a fare la prova. Una sola persona accompagnavalo; suo figliuolo: temendo la burla, di cui mai non mancano di largire gli sforzi infruttuosi, siccome egli medesimo ingenuamente confessa, non aveva voluto confidarsi con alcuno. Il cervo-volante veniva lanciato. Una nube, che prometteva assai, non produceva nessun effetto; altre nubi si facevano innanzi, e bene si può pensare l'inquietudine, onde erano attese. Tutto pareva tranquillo, non si vedeva scintilla, non segno elettrico; alla fine in questo mezzo alcuni filamenti della corda incominciavano a sollevarsi, come se fossero stati respinti; fu udito un picciolo romorìo: Francklin animato da queste apparenze elettriche presenta il dito all' estremità della corda, ed incontanente vede comparire una viva scintilla, che fu tosto seguita da molte altre. Così per la prima volta il genio dello uomo scherzò col fulmine e sorprese il secreto della sua esistenza.

*

L'esperimento di Francklin ebbe luogo in giugno 1752; e fu ripetuto in tutti i paesi dotti e dovunque con lo stesso successo. Un magistrato francese, De Romas, assessore al presidio di Nerac, profittando del primo pensiero di Francklin già pubblicato in Francia aveva eziandio pensato di sostituire il cervo volante alle sbarre elevate; e fin da giugno 1753, prima che avesse cognizione de' risultamenti di Francklin aveva ottenuto dei segni elettrici moltissimo energici, dappoichè gli era venuta la felice idea di mettere un filo metallico in tutta la lunghezza della corda (*Mem. de' Dotti stranieri*, t. II). Più tardi nel 1757, De Romas ripetè nuovamente le sue sperienze in tempo di un oragano, e questa volta ottenne scintille di una meravigliosa grandezza » Immaginatevi, egli dice, di vedere delle lamine di fuoco nove o 10 piedi lunghe, ed un pollice doppie, che facevano altrettanto o più rumore che colpi di pistola. In men di un'ora io ebbi certamente trenta lamine di questa dimensione, senza contare mille altre di sette piedi e al disotto (*Mem. de' Dotti stranieri* t. IV) ».

Malgrado tutte le cautele bene adottate, che prendeva questo abile sperimentatore, una volta egli venne rovesciato dalla violenza dell' urto.

Questi risultamenti dimostrano in modo evidentissimo che il fulmine in fatti non è altro se non una scintilla elettrica.

I cervi volanti adoperati a provar questa identità possono servire a molte altre sperienze, che ora gioverebbe tentare per l'avanzamento della scienza: nondimeno il loro uso mai non può essere abbastanza comune, perchè convenga di darne qui la descrizione.

535. *Dell' elettricismo durante gli oragani.* — Studiando lo stato elettrico delle nubi, che passano di mano in mano al di sopra di un cervo volante, si riconosce per prova che alcune sono cariate di elettricità vitrea, altri di resinosa, e ce ne ha di quelle, che sono nello stato naturale. Quantunque noi non sapessimo nulla della disposizione dell' elettricismo nell' interno delle nubi e nella lor superficie, purtuttavia possiamo conchiu-

dere con certezza che i corpi elettrizzati si respingono, quando hanno la stessa elettricità, e si attirano, quando hanno elettricità contrarie. Queste attrazioni e queste ripulsioni senza dubbio influiscono alcun poco ne' moti straordinari, che nel momento degli oragani si osservano in cielo: il vento non è allora la sola potenza che trasporti le nubi; la sua influenza è modificata dalle azioni elettriche, che si esercitano con maggiore o minore energia su questi ammassi considerevoli di vapori: così veggonsi rapidamente accostarsi od allontanarsi, come se fossero spinti in senso contrario, o girare in sè stesse, come se il vento, che le trasporta, non fosse che un vasto turbine. In mezzo a questo generale agitamento dell' atmosfera vedesi scintillare il lampo, e si odono rimbombare gli scoppi del tuono. Tentiamo di dar ragione di questi due fenomeni: della luce e del rumore.

Alcune volte si vede il lampo fender la nube, e solcare una grand' estensione del cielo quando dall' alto dei monti si osserva questo fenomeno a' piedi di esso, si può anche meglio giudicare dello spazio, che occupa, e tutti gli osservatori concordano in dire ch'essi han veduto de' lampi, i quali erano certamente più di una lega lunghi. È noto eziandio che le stesse nubi sospese nelle stesse regioni del cielo possono dare l' un dopo l' altro molti lampi; sicchè per riprendere lo stato loro naturale essi fanno altrimenti che i corpi conduttori elettrizzati. Da ultimo niuno ignora che la traccia del lampo è quasi sempre una curva serpeggiante, le cui pieghe sono più o meno sviluppate o più o meno prossime. Questi tre fenomeni della forma del lampo, delle sue ripetute apparizioni e della sua lunghezza, non possono esser compiutamente spiegate nello stato attual della scienza.

La forma serpeggiante è comune al lampo ed alla scintilla: basterebbe per amendue i casi una sola spiegazione; ma io confesso che niente evvi a mia notizia di soddisfacente su tal subbietto.

Gli ammassi di vapore, che costituiscono le nubi, non sono corpi conduttori, come le masse metalliche, e senza sapere come l' elettricità si distribuisca e si metta

in equilibrio su questi conduttori imperfetti, che spesso hanno molte leghe di superficie, chiaro è che non basterebbe metterli un istante in contatto col suolo per scaricarli compiutamente, ed è per conseguenza impossibile che una sola scintilla li rimetta nello stato naturale. Sicchè di necessità si vedranno scintillar molti lampi nel seno della medesima nube.

Sembra che anche la lunghezza del lampo sia una conseguenza dell' imperfetta conduttibilità delle nubi e della mobilità delle parti loro costituenti. Per darsi ragione di questo fenomeno non bisogna paragonare l'elettricità delle nubi con quella di una batteria elettrica. Allorchè qui le due elettricità dissimulate fanno sforzo per ricongiungersi, mai non possono sormontare altro che un brevissimo spazio: per esempio la più forte carica della più forte batteria non si allontana più di tre o quattro centimetri; e se ne può di leggieri conoscere la ragione: mentre che i punti, i quali si accostano per chiudere il circuito fra l' interno ed esterno della batteria rimangono un poco lontani, le elettricità non vi si presentano mai che in debolissima parte, dappoichè sono ritenute nell' interno delle giarre dalla loro scambievole attrazione attraverso alla doppiezza del vetro. Adunque bisogna paragonare l' elettricità delle nubi a quelle, che sono *libere* sulla superficie de' corpi più o meno conduttori. Le nostre migliori macchine possono dar la scintilla ad un metro attraverso di un' aria secchissima; ma se si mettono delle polveri sopra una stoffa di lana o di seta, la scintilla si potrà far partire a maggiore distanza. Se avessimo a disposizione nostra delle macchine potenti abbastanza, perchè una leggera nebbia intorno a' lor conduttori non diminuisse sensibilmente la tensione loro, chiaro è che le particole conduttrici sospese nell'aria farebbero lo stesso effetto delle particelle metalliche nella precedente esperienza. Adunque mi pare che, per ispiegare la lunghezza del lampo, bisogna concepire che sulla via, la qual prende il lampo, le particelle di vapore e forse ancora le particelle di aria già si trovino elettrizzate dalle contrarie influenze dell' elettricità, che

tendono a precipitarsi l'una verso l'altra; e che finalmente in un dato istante l'equilibrio è rotto, senza che siavi trasporto di fluido dall'una delle nubi sull'altra, ma soltanto trasporto o vibrazione successiva di strato in strato sopra tutta l'estensione, che il lampo percorre.

Il rumor del tuono in tutt'i suoi fragori e formidabili rivolgimenti, non è più malagevole ad ispiegare dello scoppiettìo della più piccola scintilla: è la vibrazione dell'aria squarciata con maggiore o minore intensità. Quando la scarica di una batteria passa attraverso di una massa liquida, la respinge e la schizza per tutt'i versi; quando la scarica di una semplice bottiglia di Leida passa attraverso di un gas tutto il fluido è squarciato, ed evvi accrescimento di volume, siccome può vedersi col termometro di Kinnersley. Questi dati bastano a spiegare il rumore della scintilla e quello del tuono. Purtuttavia due spiegazioni se ne possono trarre, delle quali una mi sembra buona: può dirsi che il fluido elettrico si apra un passaggio attraverso alla materia, come farebbe un proiettile in virtù della sua impenetrabilità, e che l'aria poscia rientri nel voto formato dall'istantaneo passaggio del fluido, e produce un suono, come nell'esperimento del crepa-vescica. Seguitiamo col pensiero il solco del lampo, immaginiamo un tubo di vetro che tutte ne percorra le pieghe, che sia voto di aria ed occupi esattamente tutta la traccia del fluido: da ultimo ammettiamo che in un dato istante questo tubo sia rotto in tutta la sua estensione: il rumore, che ne risulterà, sarà il rumore del tuono. Ma questa spiegazione mi sembra cattiva: dappoichè da una parte il passaggio nell'aria di una palla di cannone dovrebbe produrre un rumore consimile, ed intanto appena si ode una specie di sibilo, che il più pauroso soldato mai non ha paragonato al rumore del tuono: dall'altra parte tutti gli esperimenti dinotano in modo positivo che il fluido elettrico non prova mai un moto di trasferimento simile a quello de' proiettili di materia ponderabile. Già da noi s'è insistito su questo punto (**206** e **228**), che ci sembra fondamentale; ed i principi da noi adottati sul passaggio dell'elet-

tricismo attraverso a' corpi buoni o cattivi conduttori ci forniranno un' altra spiegazione del rumore del tuono, che ci pare totalmente concorde co'fatti. Quando la scintilla parte fra due corpi, ci ha decomposizione e ricomposizione di elettricità fra tutti gli strati, dove appare, e quindi vibrazione più o men violenta nella loro materia ponderabile: quest'è una specie di lacerazione o d'improvviso staccamento, come si vede nell'esperienza del foracarta: questa vibrazione è quella, che fa il rumore, propagandosi poscia in tutta la massa ambiente.

Dopo ciò concepiamo il solco di un lampo dell'estension di una lega, o soltanto di 3400 metri per fissar meglio le idee la luce brilla nello stesso attimo in tutta questa estensione; dunque accade nel momento stesso che il rumore viene eccitato in tutti gli strati. Ma il suono si propaga con lentezza, esso percorre 340 metri in 1"; quindi per un osservatore, che fosse posto sulla linea del lampo a 340 metri da una delle sue estremità, prima vi sarebbe scoppio di luce, poi assoluto silenzio per 1"; allora comincia a sopravvenire il rumore, e ciò ch'egli ode, è la vibrazione eccitatasi nello strato a lui più vicino; in seguito giunge il rumore degli altri strati, si succede senza interruzione e dee durare 10" nell' ipotesi fatta da noi, poichè l'altro estremo del lampo è a 3400 metri. Sicchè la lunghezza del lampo è quella, che determina la durata del romore, e per un osservatore, che stesse sotto la linea del lampo, quasi nel suo mezzo, lo stesso colpo di tuono avrebbe de' rivolgimenti per metà meno prolungati, che per un osservatore, il quale stesse verso uno degli estremi del lampo: questi non sentirebbe che un colpo, mentre il primo potrebbe credere di udirne due ad un tempo, uno a dritta l'altro a sinistra, conciossiachè il rumore da due lati gli venga.

Quanti secondi o battute di polso scorrono tra l'apparizione del lampo e la prima impressione del rumore tante volte ci ha 340 metri di distanza tra l' osservatore ed il punto della traccia del lampo, che gli si trova più da presso: quando si è veduto il lampo, tutto l'effetto del tuono è prodotto: il dippiù non è che rumore.

Gli stessi princìpi ci spiegano ancora gli scoppi strazianti, i rivolgimenti prolungati e tutt'i periodi di quella terribile armonìa, che un colpo solo di tuono fa udire. Nel tragitto del lampo non tutti gli strati vibranti ricevono lo stesso impulso, dappoichè non sono nè alla stessa temperatura, nè allo stesso stato di secchezza o di umidità, nè per conseguenza sotto la stessa influenza elettrica. Sicchè la prima impressione del suono non sarà sempre la più intensa, comechè venga dal luogo più prossimo, ed in un'estensione sì lunga è impossibile che il suono non cresca a molte riprese.

Queste nozioni bastano a far intendere ciò ch'è in sè stesso il rumor del tuono; ma spesso può intervenire che le foreste, le valli, i monti o anche le nubi facciano degli echi per ripeterlo.

536. *Degli effetti del tuono, quando cade sopra la terra.* — Il tuono *cade*, quando il lampo scaturisce fra una nube ed i corpi situati sulla superficie terrestre: allora si dice che questi corpi son *fulminati*. Nel linguaggio della scienza questa parola non importa di necessità un'idea di distruzione, conciossiachè il fulmine non distrugga ciò che tocca inevitabilmente. Altre fiate molto discutevasi sulla quistione di sapere, se il fulmine cade dal cielo, ovvero se innalzasi da terra verso le nubi: era una specie di dilemma, a cui non si poteva sottrarre: ma quel, che dianzi abbiam detto, mostra di un modo chiarissimo che il fulmine non cade mai, nè mai si eleva; dappoichè non evvi trasferimento del fluido elettrico dall'un punto all'altro de' due estremi del lampo. Intanto per uniformarci all'usanza, noi diremo che il tuono cade, ricordandoci tuttavia del senso, che si vuole attaccare a questa espressione.

Immaginiamo una nube tempestosa, la qual per esempio sia carica di elettricità vitrea: la sua elevazione al di sopra del suolo sarà come il solito compresa fra 2000 e 6000 metri; avrà una forma qualunque, una doppiezza ed un'estensione considerevole. Prima di ogni altro supponiamo che la stia di sopra al mare o di un gran lago: essa mercè l'influenza sua decompone le elettricità natu-

rali della massa liquida, respinge il fluido vitreo nella profondità del suolo, ed attira il resinoso nella superficie delle acque. Il cumulo di questo fluido può essere abbastanza grande, perchè vi si elevi sensibilmente; ed allora si vede una grande onda od una montagna liquida, la quale si eleva e rimane sospesa, finchè l'azione elettrica dura. Ma questo fenomeno può terminarsi in tre modi: 1° Se non havvi alcuna esplosione nella nube tempestosa, la si allontana con maggiore o minore rapidità: l'intensità della sua azione diminuisce, siccome la distanza cresce; il fluido resinoso meno attirato a poco a poco ripassa nel suolo; e tutta la massa di acque ricade nello stato naturale. 2° Se havvi un'esplosione tra la nube tempestosa e qualche altra nube vicina, od anche fra la nube tempestosa e qualche altro punto della terra lontano dalla superficie liquida, che in questo momento consideriamo, chiaro è che la nube subitamente scaricata da questa esplosione, subitamente cesserà la sua azione sulla superficie delle acque, che avea sollevate; ed il liquido sforzato di riprender di botto lo stato suo naturale, ricadrà sopra sè stesso con violenza, precipitandosi la sua elettricità resinosa nelle profondità delle acque e del suolo per ricongiungersi con la vitrea, da cui era stata separata. In questo caso l'acqua è *fulminata* dall'*urto di rimbalzo*, di cui abbiamo già parlato (195); essa è fulminata senza che il fulmine cada, cioè senza che siavi esplosione fra essa e la nube tempestosa. 3° Se la nube tempestosa è molto prossima, molto voluminosa, o molto fortemente elettrizzata, perchè la scintilla parta fra un punto della sua superficie e la superficie delle acque, che aveva elettrizzata per influenza, allora l'acqua è *fulminata direttamente*, o, come ordinariamente si dice, il fulmine cade nell'acqua. Generalmente questa esplosione produce più effervescenza e gorgoglio nelle acque, che non l'urto di rimbalzo: siffatta scossa non ha luogo tra' fluidi elettrici, senza che siavi una violenta azione meccanica negli elementi ponderabili: ciascun de'suoi effetti, che noi lungamente descriveremo, può essere in un istante prodotto ed anche un istante basta a produrli successivamente.

Dopo aver preso ad esempio una massa mobile omogenea e di un'egual conduttibilità elettrica in tutte le sue parti, ci sarà facile d'intendere l'effetto della nube tempestosa su di una vasta pianura composta di elementi eterogenei e variamente conduttori. Anche le naturali elettricità del suolo saranno decomposte per influenza, il fluido vitreo sarà eziandio respinto ed il resinoso attirato e cumulato verso la parte superiore del suolo. Ma nel presente caso non bisogna fermarci alla superficie: bisogna penetrar col pensiere in tutti gli strati, che costituiscono il suolo fino ad una grandissima profondità, distinguere i buoni ed i cattivi conduttori, infine riconoscere la lor forma, l'estensione loro e la lor disposizione. Tutte queste circostanze hanno una parte più o meno notabile nel fenomeno. Chiaro è per esempio, che, se a qualche piedi sotterra vi fosse uno strato metallico di grand'estensione, più energica sarebbe l'azione della nube, maggiore la quantità di elettricismo cumulato e la scintilla partirebbe più presto; allora la crosta superiore del suolo sarebbe forata dal fulmine in uno o più punti, come la carta o il quadrato di vetro nell'esperienze nostre con le batterie. Questo paragone basta a fare intendere che nelle vaste pianure la natura del suolo, il suo stato di secchezza o di umidità, e la conduttibilità delle masse più o meno voluminose, che i suoi strati possono contenere sono elementi, che determinano l'esplosione del fulmine e gli effetti straordinari, ch'esso produce. In tal caso la nube tempestosa può esercitar solo un'azione per influenza, fulminare per l'urto di rimbalzo, o fulminare direttamente.

Non sembra che il primo modo di azione possa mai produrre verun fenomeno apparente; non vi sono mai scosse, quando l'elettricità sono lentamente decomposte e lentamente ricomposte: nondimeno sembra che questi cangiamenti di equilibrio elettrico possono essere sentiti dagli esseri organizzati, e particolarmente dagli infermi di malattie nervose. Osservazioni più precise e multiplici bisognerebbero su tal subbietto.

L'urto di rimbalzo è sempre meno violento dell'urto

diretto. Non evvi esempio a mia notizia che abbia prodotto qualche combustione: ma pare certo che gli uomini e gli animali possono esser colpiti di morte dall'urto di rimbalzo; allora non si osserva nè traccia di scottatura, nè piaga, nè frattura.

Gli è in virtù dell'urto diretto che il fulmine produce i suoi più terribili effetti. Quando cade sul suolo, vi segna il suo passaggio con uno o più fori più o meno profondi: scossa n'è la terra, forata e svelta.

Se delle piccole eminenze s'innalzano dalle pianure, esse sono più presto toccate, perchè più prossime alla nube; per la stessa ragione ogni elevazione al di sopra del suolo è più esposta a' colpi del fulmine; alcuni piedi di altezza dippiù bastano a determinare l'esplosione: per questo gli animali sono tocchi spesso nel mezzo delle pianure: ma, poste da un' altra parte tutte le cose uguali quelli che stanno in un suolo cattivo conduttore, corrono meno pericolo di coloro, i quali stessero su di un suolo buon conduttore.

Da ultimo consideriamo l'azione della nube tempestosa, quando passa al di sopra di alcuni obbietti elevati, come alberi od edifici. Se questi oggetti fossero non conduttori, la presenza loro non avrebbe nessuna influenza, la nube eserciterebbe la sua azione solo sul suolo: ma, siccom'essi sono più o meno conduttori, la loro elettricità è decomposta, e lo è in ragione della lor conduttibilità, della forma loro e del loro innalzamento. Gli alberi a cagione della natura loro, e soprattutto dell'umidità che contengono, generalmente sono conduttori assai buoni; e la lor cima sempre più o meno prossima alla nube riceve per conseguenza un cumulo grande di fluido. Per questo gli alberi *attirano* il fulmine, ed i più alti sono tocchi i primi. Adunque nel tempo degli oragani si vuole evitare la vicinanza di un albero, ed anche quella di una macchia, soprattutto nel mezzo delle pianure, conciossiachè, se il fulmine scoppia, l'albero o la macchia sarà toccata. Ne' paesi coperti il pericolo non è lo stesso: è certo sempre che, se il fulmine cade, cadrà su di un albero, ma non cadrà almeno sopra di tutti: non-

dimeno per cercare un ricovero nel momento del pericolo, il più esperto osservatore molto sarebbe impacciato della scelta; ed il meglio che potrebbe fare, sarebbe senza dubbio di evitare gli alberi e stendersi per terra.

In generale gli edifici sono composti di metallo, di pietra e di legno, che dalla nube tempestosa ricevono azioni diversissime per le diverse conduttibilità loro. Ma, quando scoppia il fulmine, s'intende bene colpirà in preferenza i migliori conduttori; poco importa che siano scoperti o che siano inviluppati nell'interno di alcuni massi meno buoni conduttori; l'azione per influenza da niun ostacolo non è impedita, si fa sentir su di un chiodo, nel mezzo di una massa di pietre al pari che su di una banderuola esposta alle nubi: questo principio è quello, che spiega un gran numero di fenomeni, dapprima incomprensibili che nell'esplosioni del fulmine si osservano. Questa potenza sembra operare con una specie di discernimento, sembra cansare od aver riguardo ad un oggetto, che si trova sulla sua via, per andarne a colpire un altro lontano e nascosto; tutti gli accidenti più o meno meravigliosi, che si riferiscono su di ciò, senza dubbio non presenteranno mai impaccio all'osservatore, che bene saprà i princìpi della conduttibilità e dell'elettricismo per influenza.

Dopo avere indicato le cagioni principali, che determinano l'esplosione del fulmine nella superficie terrestre, noi cercheremo di esaminare in generale gli *effetti* che produce. Noi qui distingueremo, come ne' fenomeni delle pile e delle batterie, gli effetti meccanici, gli effetti fisici ed i chimici.

Gli *effetti meccanici* del fulmine sono d'incredibile intensità: quando il fulmine cade in un appartamento, quasi sempre accade che siano smossi o rovesciati dei mobili od utensili; spesso sonosi veduti de' pezzi metallici strappati dalle loro incastrature e trasportati lontano; qualche volta gli alberi sono squarciati ed infranti, ma essi ordinariamente sono dalla cima al piede segnati da un solco molti centimetri largo e profondo; allora la scorza e le fibre strappate sono in grande distanza slanciate;

spesso appiè dell'albero vedesi il buco, onde i fluidi si sono sparsi nel suolo. Da ultimo, ciò che parrà senza dubbio più meraviglioso, afferma un osservatore che con un colpo di fulmine venne sradicato dalle sue fondamenta un piccol muro di mattoni molte tese lungo e tutto di un pezzo traslocato alla distanza di molte tese. Tali effetti non possono essere spiegati dalle leggi ordinarie delle attrazioni elettriche; e noi abbiamo accennato un principio nuovo (**214**) il qual sembra darne la soluzione.

Gli *effetti fisici* sono più analoghi a quelli, che noi possiamo produrre con le nostre batterie: essi si riducono ad un elevamento di temperatura più o meno grande. Quando il fulmine cade sopra tetti di stoppia, sopra mucchi di vettovaglia, sopra legname secco od anche in certi casi sopra alberi verdi, carbonizza le parti che tocca, ed anche spesso vi appicca il foco e produce incendi: nondimeno debbo aggiungere che in tutti gli alberi toccati dal fulmine, i quali ho avuto occasion di osservare, solo un piccolissimo numero se ne rinviene, che offrono segni di carbonizzazione. I metalli, come migliori conduttori, sono sempre fortemente riscaldati dal passaggio del fulmine; spesso ancora sono fusi o volatilizzati. Sicchè non è raro di vedere in una casa fulminata ridotte in fumo tutte le corde de' campanelli. I quali effetti son noti a tutti, e dovrebbesene profittare nella pratica: si dovrebbe por mente che nelle casine o nelle case, che non sono garantite da parafulmini, non bisogna che un pezzo metallico sconciamente situato, perchè il fulmine cadendovi determini un incendio.

Gli *effetti chimici* sono senza paragone più intensi di quanti ne possiamo produrre con le batterie nostre. I colpi replicati del fulmine sulle vette elevate degli alti monti lasciano sensibilissime tracce di fusione. De Saussure ne ha osservate sulla vetta del Monte-Bianco, nell'*anfibolo* schistoso Ramond sul picco del Mezzodì nello sciste micaceo; presso la vetta del Monte-Perduto sopra un fetido calcare mischiato di sabbia quarzosa; ed a Puy-de-Dôme in una specie di porfido, che compone la *Rocca sanadaria*: da ultimo i Sigg. Humboldt e Bonpland han-

no veduto sulla vetta più alta del vulcano di Toluca la superficie della roccia vetrificata in una estensione di più di due piedi quadrati; in molte regioni eranvi anche dei buchi, il cui interno offriva la stessa crosta vitrea.

Ecco un altro fenomeno di fusione molto più notabile, ch'è stato con molta cura osservato e descritto dal dottore Withering (*Trans. filos.*, 1790; *ed Ann. di Fis. e di Chim.*, t. XIX, pag. 395).

Addì 3 settembre 1789 il fulmine cadde su di una quercia nel parco del conte d'Aylesford ed uccise un uomo, che vi avea cercato ricovero. Il bastone, che questo infelice portava e gli serviva di sostegno, fu secondo tutte le apparenze, la via principale, che il fluido elettrico seguì, poichè il suolo colà, dove metteva capo il bastone, era forato di un buco 5 pollici profondo e del diametro di 2 $\frac{1}{2}$. Questo buco, esaminato dal Sig. Withering, poch'istanti appresso la sua formazione, rinchiudeva solo alcune radici di erbucce bruciate. Qui sarebbero probabilmente finite le osservazioni, se lord Aylesford non si fosse determinato di costruire una piccola piramide nel sito dell' avvenimento con una iscrizione destinata a distogliere i passaggieri dal ricoverarsi sotto gli alberi in tempo di oragano. Ma scavando pe' fondamenti, si trovò che il suolo nella direzione del buco erasi annerito fino alla profondità di 10 pollici: due pollici più giu il terreno quarzoso offriva manifeste vestigia di fusione. Le mostre mandate alla Società reale con la Memoria del dottor Withering si componevano:

1° Di una pietra quarzosa, uno de' cui angoli era stato fuso compiutamente;

2° Di un pezzo di sabbia unito dal calore, dappoicchè non eravi alcuna materia calcarea tra' grani. In questa massa esisteva una parte cava, in cui tanto era stata perfetta la fusione, che la materia quarzosa, dopo esser tutta scolata pel lungo della cavità, presentava nel fondo una forma globosa;

3° Molti pezzi più piccioli, ma tutti egualmente forati.

Da ultimo come un effetto chimico del fulmine noi

dobbiamo ancora citare que' tubi singolari, che sono stati scoperti nelle sabbiose pianure della Slesia, della Prussia orientale, della Cumberlandia, ed anche del Brasile presso Bahia. Si chiamano *tubi fulminari*, e tutto c'induce a credere che sono nominati bene.

Generalmente essi hanno 5 centimetri di diametro esterno, alcuni millimetri di diametro interno, e fino ad 8 in 10 metri di lunghezza: la loro superficie interna è un vetro perfetto, unito e lucentissimo, simile all'opale vitrea, la superficie esterna è rugosa, piena di scabrosità, e forma una specie di crosta rivestita di granelli di quarzo agglomerati, come se avessero provato un principio di fusione, si trovano sprofondati nella sabbia, ora verticalmente ora obbliquamente; alcune volte dalla lor superficie inferiore terminano in molte branche simili a delle radici, che diventano sempreppiù aguzzate, esse hanno fino a 0^m, 33 di lunghezza. Il dottore Fiedler, che ha fatto molte osservazioni su questo importante subbietto (*Ann. di Fis.* Gilbert, t. LV e LXI), osserva che ad una certa profondità di sotto a queste pianure di sabbia sonovi de'nappi di acqua, considera i tubi fulminari come prodotti dal passaggio del fulmine dalla superficie del suolo fino al liquido, in cui debb' essere neutralizzato. Di fatto tutte le circostanze osservate finora concorrono in far adottare questa origine de' tubi fulminari.

Se noi abbiamo partitamente esaminati questi *tre effetti*, non è già, come si può ben credere, che generalmente non siano contemporanei nella maggior parte dell'esplosioni, sempre ci ha frattura delle parti, elevazione di temperatura, e quindi combinazione chimica, se i vicini elementi sono disposti ad unirsi od a separarsi sotto queste influenze.

Quando per esempio i corpi organizzati son fulminati, sempre il calore e la violenza meccanica sono i fenomeni più apparenti. Due infelici ho veduto colpiti dallo stesso fulmine nel mezzo di un campo, uno era morto sotto il colpo, l'altro ebbe a soffrire alcune ore ancora, le lor vesti erano in combustione, profonde scottature segnavano il passaggio de'fluidi, ed il primo aveva tutta

la parte ossea del capo infranta come avrebbe potuto esserla da cento colpi di clava. Questi atroci effetti son quelli che si riproducono con maggiore o minor intensità in tutte le disgrazie di tal sorta finora osservate, ed alle quali non possono tutti gli aiuti della scienza liberare l'umanità.

Per dare una più compiuta idea de' terribili effetti del fulmine noi qui riferiremo una relazione delle sventure accadute a *Castelnuovo-le-Moustiers* il dì 11 luglio 1819. Questa relazione fu indirizzata all' Accademia delle scienze dal Sig. Trancalye vicario generale di Digne.

« Nel distretto di Digne esiste un villaggio chiamato Castelnuovo, Dipartimento delle Basse-Alpi al sud-est e conterminante con la piccola città di Moustiers, nota per una manifattura di faenza, il cui smalto e qualità giustificano la preferenza accordatale sopra tutte quelle del regno. Egli è posto sulla vetta e nell'estremità di una fra le prime montagne delle Alpi, che formano un anfiteatro sopra Moustiers. Esso consiste in quattordici case riunite al presbiterio ed alla chiesa parrocchiale, su di un eminenza tagliata dagli angoli di altre due montagne una al levante e l'altra all'occidente. L'intervallo, che separa il villaggio dalla montagna del levante, è tanto stretto e profondo, che l'aspetto mette terrore. Cencinquanta abitazioni sono sparse in capanne quasi tutte sul declivio della montagna di levante, e formano una popolazione di cinquecento anime.

» Addì 11 luglio 1819 giorno di domenica il Sig. Salomè parroco di Moustiers e commissario episcopale venne a Castelnuovo per istallarvi un altro rettore. Verso le ore dieci e mezzo andarono in processione dalla casa parrocchiale alla chiesa. Il tempo era bello, se non che si osservavano alcune grosse nubi. Fu incominciata dal nuovo rettore la messa.

» Un giovane di diciotto anni, che aveva accompagnato il parroco di Moustiers, cantava l'epistola, quando furono uditi tre scoppi di tuono, che si succedettero con la celerità del lampo. Il messale gli venne strappato di

mano e fatto in pezzi, egli medesimo si sentì strettamente serrato nel corpo dalla fiamma, che poi lo prese nel collo. Allora con un moto involontario, questo giovine, che prima aveva dato fuori grandi grida, chiuse la bocca, fu rovesciato, rotolato sulle persone riunite in chiesa, le quali si erano tutte atterrate e cacciate così fuor della porta. Rientrato in sè stesso il primo pensiero fu di ritornare alla chiesa per assistere il curato di Moustiers, che trovò asfissiato e fuori sensi. Questo giovine richiamò su quel rispettabile e sventurato pastore l'attenzione e le cure di coloro, i quali lievemente feriti potevano dargli aiuto. Fu rialzato, estinta la fiamma della sua cotta, richiamato in vita con dell'aceto due ore dopo il suo stordimento. Egli vomitò molto sangue. Assicura che non udì il tuono e niente non seppe di quel che accadeva. Fu portato al presbiterio. Il fluido elettrico aveva fortemente toccata la parte superiore del gallone d'oro della sua stola, era scorso fin giu, tolta via una delle sue scarpe che lanciò nell'estremo della chiesa, e rotta la fibbia di metallo. La sedia, su cui era, fu tutta infranta.

» L'indomani il Sig. curato fu portato dal presbiterio a Moustiers per essere medicato delle sue ferite che due mesi dopo cicatrizzarono. Vi era un' escara di molte dita trasverse sulla spalla dritta, un'altra che si estendeva dal mezzo posteriore del braccio dello stesso lato fino alla parte media ed esterna dell'avanbraccio; una terza escara profonda partiva dalla parte media e posteriore del braccio sinistro e giugneva alla parte media dell'avanbraccio dello stesso lato; una quarta più superficiale e meno estesa al lato esterno della parte inferiore della coscia sinistra; ed una quinta sul labbro superiore fino al naso. Egli ha patito un insonnio perfetto per circa due mesi; ha avuto le braccia paralizzate, e soffre per le differenti variazioni atmosferiche.

» Un bambino fu strappato alle braccia materne e lanciato sei passi lungi; fu richiamato in vita facendogli respirare l'aria aperta. Tutti avevano le gambe paralizzate. Tutte le donne scapigliate offrivano uno spettacolo orribile. La chiesa fu ripiena di un fumo nero e den-

so; gli obbietti non si potevano discernere che col favor delle fiamme de'brani di vestimenta accese dal fulmine.

» Otto persone colà rimasero; una giovanetta di diciannove anni fu portata fuori de'sensi nella sua casa, e spirò verso l'alba del dì appresso in preda a'più atroci dolori, volendone giudicar da' suoi urli; in modo che il numero de' morti fu nove, quello de'feriti ottantadue

» Il sacerdote, che celebrava, non fu toccato dal fulmine, senza dubbio perchè aveva un ornamento di seta.

» Tutt'i cani, ch'erano in chiesa, furono trovati morti nell'attitudine stessa che avevano prima.

» Comechè non si possa tener dietro a tutte le operazioni del fluido elettrico, pure se ne può alcuna fiata giudicar dagli effetti.

» Una donna, ch'era in una capanna sulla montagna di Barbin all'occidente di Castelnuovo vide cadere una dopo l'altra tre masse di fuoco, le quali pareva che dovessero ridurre il villaggio in cenere.

» Pare che il fulmine toccò prima di tutto la croce del campanile, che trovossi confitta nella fenditura di una roccia alla distanza di 16 metri. Il fuoco elettrico penetrò poi nella chiesa da una breccia fatta da esso nella volta, alla distanza di un mezzo metro da quella, donde passa la fune di una campana; il pulpito fu schiacciato. Si rinvenne nella chiesa uno scavamento di un mezzo metro di diametro prolungato sotto le fondamenta del muro fino al pavimento della strada, ed un altro che rientrava sotto i fondamenti di una stalla che sta di sotto, dove furono trovati morti cinque montoni ed una giumenta ».

538. *Dell' origine dell' elettricismo atmosferico e della formazione delle nubi tempestose.* — La quistione dell' origine dell' elettricismo atmosferico è forse fra tutte le grandi quistioni, che occupano la meteorologia, quella che ha dato origine al maggior numero di dissertazioni e d' ipotesi più o meno singolari. Buoni osservatori hanno tentato di sciogliere la per la via dell' esperienza; de Saussure e Volta se ne sono occupati

con quel zelo e rara sagacia, che in tutt'i lavori loro usavano; e, se non hanno ottenuti decisivi risultamenti, se non hanno scoperta la verità, hanno almeno indicato dove si vuole cercarla. Nel 1825 io ho ripigliata la quistione nel punto, a cui l'avevano condotta, ed ho scoverto due grandi sorgenti di elettricità, che sono le due principali cagioni dell'elettricismo atmosferico. Si possono vedere tutt'i particolari degli esperimenti in due memorie, che sono state pubblicate (*Ann. di Fis. e di Chim.*, 1827), e delle quali abbiamo riferito un sunto t. 2, pagina 229 e seguenti.

Da questi esperimenti risulta: da una parte che la vegetazione è un'abbondante sorgente di elettricismo; e da un'altra parte che tutte l'evaporazioni, le quali si compiono incessantemente in natura, o sulle terre ferme o su' mari, non evvene alcuna, che non sia accompagnata da una segregazione chimica.

Sicchè la vegetazione e l'evaporazione sono le due maggiori sorgenti dell'elettricismo atmosferico. Queste cagioni più o meno attive in ciascun sito, in ciascuna contrada, secondo i periodi delle stagioni, sono nel tempo stesso costanti intorno al globo nello spazio di un anno. Questi periodi locali e questa universale costanza, che si mostrano nelle cause, si riproducono ancora negli effetti. Ne' vari climi varie stagioni vi sono per gli oragani; ma in tutta l'estensione dell'atmosfera ogni anno per l'esplosioni del fulmine si distrugge una certa quantità di elettricismo, che è quasi la stessa, e questa quantità costante di elettricismo è riprodotta ancora in ogni anno.

L'acido carbonico ed i vapori mescolandosi con l'aria spandono e disperdono in tutta l'estensione atmosferica i fluidi elettrici, che hanno per un momento presi dalla terra. Sicchè tutte le regioni atmosferiche sono in uno stato elettrico abituale, ma questo stato varia da una regione ad un'altra: qui domina l'elettricismo vitreo; là il resinoso; allato forse rinviensi una regione quasi senza tensione elettrica o nello stato naturale.

Di fatto le osservazioni confermano questo stato elettrico abituale dell'atmosfera. Nel 1753 durante una

siccità di sei settimane dalla metà di settembre alla fine di ottobre, Lemonnier ogni giorno osservò elettricismo nell'atmosfera, ed intanto la serenità del cielo venne appena intorbidata da alcune nuvole in questo mezzo. Gli esperimenti di De Saussure, Erman, Volta e di un altro gran numero di eccellenti fisici confermano questo risultamento. Anche si crede ed è un' opinione molto generalmente adottata, che sotto un cielo sereno l'elettricismo dell' aria è più comunemente positivo, e che cresce d' intensità siccome si eleva. Le diverse serie di esperienze, che ho avuto l' opportunità di fare non menano ad una conseguenza tanto assoluta: è un importantissimo subbietto d'investigazioni a'metereologici. Del rimanente ben potrebbe accadere che l' aria serena fosse elettrizzata positivamente in certe stagioni e negativamente in altre; e forse ancora questo stato elettrico non è in tutt' i climi lo stesso.

Gli apparecchi necessari a siffatte ricerche non sono nè fastidiosi nè di dispendio: basta un piccolo elettroscopio ad indicare le forti cariche. Potrebbesi armarlo di una punta o anche di una verga molto lunga, nel cui estremo si mette un pezzo di esca accesa. Allorchè questo istrumento non dà verun segno di elettricismo, non per questo se ne dovrebbe conchiudere che l'aria è nello stato neutro: ma è allora mestieri d' impiegare un condensatore più o meno sensibile. Uno de' suoi piatti comunica durante l'esperienza col suolo, l'altro mercè un filo metallico comunica con una verga isolata od anche con una lunga pertica, nel cui estremo si accende dell'esca od uno stoppino inzolfato. Nel qual caso bisogna por mente di non prendere per elettricismo dell' aria quello, che si fosse sviluppato dalla combustione. Da ultimo per provar che l'elettricismo va crescendo, siccome uom s'innalza, ci non basta ottenere più forti cariche a misura che la cima della pertica sale più su. Molte altre considerazioni vi sono, di cui bisogna tener ragione, ma ne' cui particolari non possiamo qui entrare.

Dietro questi dati riesce facile ad intendere come si formino le nubi tempestose e come alcune acquistano

l'elettricità positiva, la negativa le altre. Tutt'i vapori, che in tanto prodigiosa quantità si ruiniscono per formare una nube, vi portano necessariamente l'elettricità loro propria. Sicchè la stessa quantità di fluido elettrico, ch'era disseminata in un'immensa estensione dell'atmosfera, trovasi concentrata nello spazio occupato dalla nube. Colà essa per conseguenza acquista una tensione molto più grande. Se questo vapore è elettrizzato positivamente la nube sarà positiva; e negativa, se negativamente.

Ordinariamente le nubi tempestose si formano in alcune stagioni dell'anno, ed in preferenza in certi luoghi, dappoichè lo stato elettrico dell'aria non ha in tutt'i luoghi ed in tutte le stagioni la medesima intensità; ed il vapore in questo stato potentemente concorre a produrre questi fenomoni, imperocchè può acquistar tensioni diversissime nelle diverse temperature, e quindi formar degli ammassi o delle nubi, la cui costituzione è diversissima o per la conduttibilità o per le altre proprietà elettriche. Ma bisogna confessarlo, se il principio della formazione delle nubi tempestose non presenta difficoltà, ne presentano le applicazioni, conciossiachè non abbiamo bastanti dati sulla formazione stessa delle nubi.

539. *De' parafulmini.* I parafulmini si compongono di un'asta metallica aguzzata che si estolle nell'aria, e di un conduttore che dall'estremità inferiore dell'asta scende fino al suolo.

Le condizioni necessarie, perchè possano produrre il loro effetto, sono:

1° Che la punta dell'asta sia ben acuta;

2° Che il conduttore comunichi perfettamente col suolo;

3° Che dalla punta fino all'estremità inferiore del conduttore non vi abbia interruzione di continuità;

4° Che abbiano convenevoli dimensioni tutte le parti dell'apparecchio.

Per intendere meglio ciò che havvi di essenziale in ciascuna di queste condizioni, supponiamo un istante

che le siano adempiute, ed esaminiamo l'effetto del parafulmine su di una nube tempestosa, che gli passi di sopra. Le naturali elettricità dell'asta e del conduttore saran decomposte: quella dello stesso nome sarà respinta nel suolo, dove potrà spandersi liberamente, poichè il conduttore comunica perfettamente col suolo, quella di nome contrario verrà attirata alla cima dell'asta; e quivi se ne potrà scorrere liberamente per l'aria dall'estremità della punta. Così non provando i due fluidi opposti nessun ostacolo alla lor circolazione in tutta l'estension del condotto, e niun ostacolo al loro scolo, uno nel suolo e l'altro nell'aria, chiaro è che il cumulo di elettricismo sul parafulmine sarà nullo, e quindi impossibile l'esplosione. Mentre in tal modo il parafulmine è in attività, mentr'è attraversato da torrenti di fluido elettrico, si può accostarglisi, si può anche toccarlo o stringerlo fra le mani senza pericolo alcuno: dove non esiste tensione elettrica, non evvi a temere commozione. Non solamente sotto le condizioni ammesse il fulmine non può cadere sul parafulmine, ma or ora vedremo che non può nemmeno cadere ad una certa distanza intorno di esso; esiste una sfera di attività ch'è dal fulmine rispettata.

Ora supponiamo che l'una o l'altra delle tre prime condizioni non sia adempiuta, che l'estremità della punta sia schiacciata, che il conduttore mal comunichi col suolo, o che vi abbia qualche interruzione di continuità nel condotto: allora si vede che non solo è possibile il cumulo di elettricismo sul parafulmine, ma ch'è inevitabile: è un conduttore, che si carica e che può accogliere un'enorme quantità di elettricismo; accostandovisi se ne possono trarre delle scintille, or deboli or forti, qualche volta fulminanti.

Ci ha pericolo, ma questo sarà secondo i casi diverso.

Se soltanto è la punta ammaccata, ed il fulmine cade, colpirà l'asta, ne potrà fonder l'estremità, ma generalmente seguirà il conduttore e non farà strazio nell'edifizio.

Se il condotto offre interruzioni di continuità, ovvero comunica male col suolo, il fulmine potrà cadere ancora e fondere una lunghezza più o meno grande dell'asta, ma è quasi certo che anderà ancora lateralmente su tutt'i prossimi corpi conduttori, e che potrà esercitare la sua distruzione, come se il parafulmine non esistesse.

Ma ci ha dippiù: un parafulmine, che presenta questi difetti, è oltremodo pericoloso, anche quando il fulmine non cade; perocchè dal momento, che il cumulo dell'elettricismo sul condotto è divenuto assai grande, il fluido tende di andare lateralmente su tutt'i corpi conduttori prossimi, e la scintilla che ne risulta può fulminarli od infiammarli. Se ne può citare un esempio lacrimevole. Nel 1753, quando De Romas faceva in Francia le belle sperienze, di cui abbiamo parlato, Richmann dell'Accademia di Pietroburgo ed espertissimo professore di fisica sperimentale fu improvvisamente ucciso da una scintilla a qualche distanza di un parafulmine, che scendeva nella sua casa, e del quale aveva interrotto il condotto per studiare gli effetti dell'elettricità delle nubi. Sokolow incisore dell'Accademia vide uscir la scintilla dal conduttore e toccare Richmann nella fronte; era, egli dice, grande come un pugno.

Dopo avere indicato le condizioni, sotto le quali un parafulmine è efficace, ed i pericoli, che si corre col trascurare queste condizioni, ci rimane a mostrare come si possano adempiere nella pratica. Il Sig. Gay-Lussac dietro dimanda del ministro dell'Interno e sotto gli auspicî dell'Accademia delle Scienze ha pubblicato su questo soggetto un'istruzione, che non lascia desiderare altro: tutto quanto concerne gli effetti de' parafulmini ed i particolari della loro costruzione, vi si trova sviluppato con una perfetta chiarezza. E ci duole di non poter qui riprodurre questa opera in tutta la sua totalità, ma che ci dobbiamo restringere a trarne dati essenziali.

L'asta di un parafulmine è circa 9 metri lunga; e si compone comunemente di tre pezzi aggiunti capo a capo, cioè:

Una sbarra di ferro di . . . . 8 metri, 60;
Una verga di ottone di . . . 0 — 60;
Un ago di platino di . . . . . 0 — 05.

La loro totalità forma un cono od una piramide, che si assottiglia regolarmente fino alla cima, e la cui base ha 5 centimetri di diametro (*fig. 387*).

L'ago di platino è saldato con la verga di ottone con saldatura di argento, e questa aggiunzione s'inviluppa ancora con una piccola fodera di rame *m* (*fig. 389*).

La verga di ottone si unisce alla sbarra di ferro per mezzo di un pernio = *g*, che si chiude a vite in amendue (*fig.* 387); questo pernio è poi fissato in ciascuna da due punte ad angolo retto.

Qualche volta la sbarra di ferro è composta di due parti per la facilità del trasporto; allora queste due parti s'incastrano esattamente con un mascbio piramidale 2 decimetri lungo; una chiavetta *c*, che le attraversa, le mantiene fortemente congiunte.

Per aggiustare l'asta sopra la fabbrica, si perfora il tetto, e si fissa con freni o valide staffe, o contro un punteruolo, o contro una trave: non si deve badare ad altro, se non a dargli solidità, e ad impedire che l'acqua s'infiltri; non si deve prendere veruna precauzione, che risguardi gli effetti dell'elettricismo. Se ne veggono tre disposizioni *fig.* 392.

Nel basso dell'asta ad 8 centimetri dal tetto, saldasi un risalto *bb'* destinato a respingere l'acqua.

Alquanto al di sopra del risalto in una lunghezza di 5 centimetri, l'asta è cilindrica e perfettamente arrotondita per ricevere un collare *ll'* spezzato a cerniera (*fig.* 388) che serve a congiungere l'asta col conduttore.

Il conduttore è una sbarra di ferro quadrata di 15 in 20 millimetri di lato, che si fissa nel collare *ll'* per mezzo di una chiavarda *nn'*, e che poi scende fino al suolo; i diversi pezzi, che lo compongono, sono aggiunti, come vedesi nella figura 390. Alcune volte in vece d'una sbarra di ferro si adopera una gomona di ferro filato di una conveniente lunghezza, che si aggiusta al collare, come si vede nella figura 391.

Perchè il peso del conduttore non arrechi danno alla copertura, viene collocato sovra piedi di 3 in 3 metri distanti, e quasi 15 centimetri alti; giunto alla cornice si curva convenevolmente perchè ne prenda il contorno senza toccarla (*fig.* 392); poi si appoggia al muro; al quale si può fissare con dei ramponi di tratto in tratto, e poi si conduce fino al suolo. Allora bisogna raddoppiare cautele e attenzioni, conciosiachè dalla perfezione della conduttibilità, che si stabilisce fra il conduttore ed il suolo dipende tutta l'efficacia del parafulmine.

Se hassi a sua disposizione un pozzo, il qual non si asseccbi, ovvero se con un succhiello può farsi un buco fino alla profondità, dove l'acqua è permanente, ei basterà farvi giungere il conduttore, dividendolo in molte branche o radici. Per moltiplicare il contatto, il conduttore verrà menato al pozzo o al buco per canali scavati sotterra, che in seguito si riempiranno con bragia di forno. In questo modo si avrà il doppio vantaggio di preservare il ferro dalla ruggine e di metterlo già in contatto con questa bragia, ch'è un ottimo conduttore.

Quando acqua non se ne avrà, almeno farà mestieri cercare un luogo umido e menarvi il conduttore per un lungo canale, dove sia bene inviluppato di bragia. Allora si potranno ancora per maggior sicurezza formare dei canali perpendicolari al primo e più o meno lunghi, in cui si faranno passare delle diramazioni del conduttore.

Se si può facilmente comprendere che il fulmine non cade su di un parafulmine costrutto secondo questi principi; non è meno facile a intendere che non può nemmeno cadere intorno di esso fino ad una certa distanza. Il fluido, ch' esce in abbondanza dalla punta del parafulmine si spande nell'aria ambiente, e trasportato dalla forza di attrazione, che la nube tempestosa esercita su di essa, fino alla stessa nube perviene, neutralizza *in parte* l'elettricismo contrario, di cui è carico. Sicchè, appena una nube tempestosa trovasi prossima al parafulmine per agire mercè influenza su di esso e sui prossimi conduttori, la sua potenza è immantinente scemata dall'arrivo del fluido contrario, che esce più o meno abbon-

dantemente dall'estremità dell'asta. In seguito siccome si accosta, la sua potenza decomponente diventa più energica, ma nel tempo stesso riceve dall'asta una maggior quantità di elettricismo contrario.

Adunque il parafulmine è un'arma, che diventa più efficace, siccome il pericolo diventa più urgente. Intanto la sua efficacia non è senza condizione: se per esempio il parafulmine fosse dominato da corpi vicini più alti di esso, la nube tempestosa eserciterebbe su questi corpi un'azione maggiore che sul parafulmine, e l'esplosione potrebbe aver luogo: se l'asta del parafulmine fosse circondata di corpi buonissimi conduttori, di legnami ferrati, o di coverture metalliche di grand'estensione, questi corpi conduttori, comecchè situati più giu dell'asta, purtuttavia proverebbero una gran decomposizione nelle loro elettricità naturali, e per questo ancora potrebbero esser toccati dal fulmine.

Il solo rimedio, che si presenta, a proteggerli, consiste nel metterli in buona comunicazione col condotto del parafulmine, dappoichè, mediante questa comunicazione, i due fluidi contrari potranno scorrere, siccome saranno decomposti; quel ch'è respinto, scorrerà nel suolo per lo stesso condotto, quel ch'è attirato, guadagnerà la cima dell'asta, e potrà liberamente scorrere verso la nube dall'estremità della punta.

Questa teorica tanto semplice condanna di pericolosa l'invenzione di alcuni pratici, i quali si hanno immaginati che per gli edifici di legname ferrato, bisognava accuratamente rendere isolati da questo legname l'asta e tutto il condotto del parafulmine. Fortunatamente i mezzi ch'essi adoperano per avere questo isolamento, sono molto imperfetti ad adempiere il loro scopo; e, se non giungono a fare uno cosa pericolosa, ne fanno almeno una inutile. La teorica vuol che si faccia precisamente il contrario, cioè che si mettano in comunicazione col parafulmine tutt'i buoni conduttori di una grand'estensione, che esso deve proteggere. Con queste cautele l'esperienza ha dimostrato che un'asta di 9 in 10 metri protegge quanto mai le sta d'intorno in un cerchio di 20 metri di raggio, così il cerchio protetto ha un raggio quasi doppio dell'asta. (17)

CAPITOLO V.

Del magnetismo terrestre.

540. I fenomeni del magnetismo terrestre considerati nella loro totalità hanno fatto parte della meteorologia, quando mercè le moderne scoverte è accaduto che la meteorologia è diventata anch' essa la fisica del globo, cioè la scienza che ha per obbietto di determinar le leggi delle forze naturali, ch' esercitano la loro azione in un modo generico su'diversi punti del globo terrestre. La forza del magnetismo si distingue fra queste da tutte l'altre per notevoli caratteri: la gravità, l'elettricismo ed il calore sembrano operar di concerto per produrre i maggiori rovesciamenti, che possano scuotere il nostro pianeta: la luce al contrario, tutti sviluppando i più ammirabili e svariati fenomeni, mai non esercita il minimo agitamento sopra la materia: ed il magnetismo destinato in certo modo ad un giuoco intermedio sembra non potercisi manifestare se non co'moti sempre lenti, regolati e periodici che imprime agli aghi delle nostre bussole.

Rinchiusi in uno strettissimo cerchio i fenomeni magnetici si manifestano tuttavia sotto apparenze infinitamente svariate, con caratteri tanto difficili a discernere, definire ed a rendere generali, che senza dubbio da sè soli ancora basterebbero a tenere esercitato per secoli lo infaticabile zelo de' fisici.

Noi non possiamo intraprendere di esporre qui quanto è noto sul magnetismo terrestre, di discutere tutt'i fatti, tutte le ipotesi, tutt' i processi di osservazione; ma noi tenteremo almeno di riassumere in poche parole i risultamenti generali meglio stabiliti, e d' indicare le quistioni, che nello stato attual della scienza, sembrano aggiungere le più vicine soluzioni.

Questo capitolo sarà diviso in sei paragrafi: 1° *declinazione;* 2° *variazioni diurne;* 3° *inclinazione*, e-

quatore magnetico e poli magnetici; 4° intensità; 5° considerazioni teoriche e formole generali; 6° aurore boreali.

Noi non dobbiamo far ritorno nè sulle prime nozioni di questi fenomeni, nè sulla descrizione degli apparecchi, che servono ad osservarli: abbiamo dato su di ciò bastanti particolari nel secondo volume (lib. III, cap. II, pag. 20).

§. *I. Declinazione.*

541. In tutt'i siti della terra la declinazione soffre variazioni, che potrebbero dirsi secolari, conciossiachè si compiano progressivamente sempre nello stesso senso per un numero di anni grandissimo. La tavola delle declinazioni di Parigi (t. II. p. 28) ci mostra in fatti che dal 1580 fino al 1824, cioè per circa due secoli e mezzo la declinazione ha proceduto verso l'ovest di trenta e più gradi: veramente non con una velocità uniforme e regolare, ma con un moto improvviso, scosso, incerto e certe volte retrogrado ancora. Dal 1824 cioè per sedici anni la declinazione prova solo deboli varietà, tutto sembra indicare che ha toccato non già un valore stabile oramai o poco mutabile, ma una specie di limite maximum, donde si allontanerà senza dubbio per eseguire verso oriente de' moti analoghi a quelli eseguiti verso occidente. Quel, che s'è manifestato a Parigi per circa tre secoli, s'è manifestato ancora con più o meno forza od ampiezza in tutt'i luoghi, dov'è stato conceduto a' fisici e a' naviganti di comprovar la direzione dell'ago da tempi rimotissimi fino a' dì nostri. Ma le serie secolari di osservazioni locali sono pochissimo estese e numerose, perchè ci sia dato fin da ora di esaminare, se il moto progressivo della declinazione s'è tutto operato intorno al globo terrestre secondo leggi sommesse a qualche regolarità. Esse servono solo a confermare il fatto in sè stesso, come fatto generico, che s'è compiuto nella grande universalità de' punti della terra, ma in diversissimi periodi di tempo e con condizioni di velocità e di ampiezza parimente diverse.

Ora dunque si possono aver presenti, d'intorno

intorno al globo, dal polo boreale all'australe, su'mari e sulle terre ferme, le direzioni attuali di tutti gli aghi di declinazione, e risguardar come un fatto acquistato dalla scienza, che tutte queste direzioni saranno mutate in un secolo, le une verso oriente le altre verso occidente, ed il problema, che allora si offre a'fisici, è di osservar questi singoli cangiamenti su di un grandissimo novero di punti, convenevolmente ripartiti in tutte le regioni, sotto tutt'i climi; di comprovare ad epoche prossime la loro ampiezza, il verso in cui si effettuano e i loro periodi diretti o retrogradi, dinotando nel tempo stesso le cagioni perturbatrici o locali, che possono esercitare qualche influenza. Questi dati, che richiedono tanto zelo, tanta esattezza ed un lavoro tanto perseverante, sono elementi necessari, che debbono aggiungersi ad altri non meno indispensabili, di cui parleremo più in là; e solo dopo aver raccolto tutte queste osservazioni riuscirà agevole di stabilire sulle loro basi veraci le leggi generali del magnetismo terrestre. Per agevolar queste investigazioni e sopra ogni altro i paragoni, che incessantemente si debbono fare fra le declinazioni de' vari luoghi, noi per l'emisfero occidentale cominciando dal meridiano di Parigi e per l'emisfero orientale abbiamo riunite nella tavola seguente tutte le declinazioni da 5 in 5 gradi di latitudine e di longitudine. La tavola corrisponde all'anno 1825 è stata quasi esclusivamente composta con le belle carte pubblicate nel 1836 dal Sig. capitano Duperrey. Ora tutt'i fisici sanno con quanta sagacia questo dotto ed esperto navigante ha discusso tutte le osservazioni, che si erano fatte a quel tempo. Le operazioni grafiche, a cui fu mestieri ricorrere per rilevar le curve del Sig. Duperrey, e le intercalazioni, che son divenute necessarie per ricondurre le declinazioni a giusti gradi di latitudine e di longitudine non ci concedono di considerare la nostra tavola come esattissima, soprattutto per le latitudini elevate. Nondimeno, malgrado le incertezze, che può presentare in molti punti, e'mi è paruto che potrebbe essere di grande aiuto allo studio del magnetismo. Vi si osserva-

no delle irregolarità, che forse parranno evidenti: per esempio sopra un meridiano stesso o su di un medesimo parallelo si vedranno delle declinazioni, che non sembrano in verun modo sottoposte alla legge di continuità; tuttavia le non si vogliono pigliar per errori; la maggior parte sono state verificate sulla carta stessa e sui documenti originali, quando è stato possibile. La regione, che offre le più toccanti singolarità, è quella compresa fra il 40mo ed il 70mo grado di latitudine boreale e fra il 110mo ed il 140mo grado di longitudine orientale. Questo grande spazio, che occupa i due pendî dei monti Doourie e Stanovoy, che comprende al sud il letto del fiume Amore, e quello del fiume Lena al nord, forma in certo modo un'isola separata, dove le declinazioni vanno verso occidente, mentre intorno intorno sembrano andare verso oriente. Per verità questa regione è ancora poco esplorata; ma dee spezialmente fissare l'attenzione de' viaggiatori e de' fisici; giova sapere a che appigliarsi in un fatto tanto particolare.

Sembra che alcuni fisici mettano una grande importanza a disegnare sul globo le *linee senza declinazione* per un'epoca determinata, ed a seguire i movimenti e le inflessioni, che acquistano in epoche diverse; ma è difficile che queste linee isolatamente considerate possano condurre ad alcun risultamento generico: il loro scostamento è senza dubbio intimamente ligato a tutti gli altri cangiamenti di declinazione che si compiono intorno intorno del globo, e solo dalla totalità di tutti questi cangiamenti un giorno si potrà riconoscere se le variazioni di declinazione siano in realtà periodiche, se la durata del periodo varia da un sito all'altro, e s'è possibile di riferire ad una causa unica e generale le ampiezze de' cangiamenti di declinazione de' vari luoghi per un determinato intervallo di tempo, o se bisogna attribuirlo a forze diverse, esercitanti azioni locali più o meno estese o più o meno profonde. Se per esempio le declinazioni fossero turbate in un emisfero senza esserlo contemporaneamente in un altro, sarebbe necessità di conchiuderne che la forza direttrice invece di essere unica e di ave-

re il suo centro di azione vicino al centro della terra, al contrario si trova ch'è una forza multiplice, i cui centri di azioni sono per ciascun luogo assài prossimi alla superficie per non affettare sensibilmente, se non gli aghi più vicini ad essa. Questa quistione è fondamentale, nè finora mi sembra punto risoluta dalla totalità de' fatti noti non può esser lecito ancora di dire che, oppositamente alle opinioni ricevute, molti fatti sembrano indicare che per ciascuna regione il centro di azione del magnetismo terrestre è ad una distanza considerevolissima dal centro della terra.

Noi abbiamo annunziato (t. 2, p. 38) che, dietro le osservazioni di Daniello Bernouilli e quelle di La Torre i tremuoti della terra e l'eruzioni vulcaniche potevano qualche fiata produrre nella declinazione delle *perturbazioni* considerevoli e permanenti. Ultimamente il Sig. Capocci ha annunciato all' Accademia che a Napoli l'eruzione del Vesuvio del 1mo gennaio 1839 aveva bruscamente diminuita la declinazione di più di un mezzo grado. (18)

§. *II. Variazioni diurne.*

542. È stato da noi indicato (t. II, p. 33) il carattere generale delle variazioni diurne, almeno per l'emisfero boreale; noi dobbiamo qui aggiungere che l'influenza delle stagioni sull' ora precisa e sull' estensione di queste variazioni non è ugualmente ben comprovata per tutt' i punti di questo emisfero. Ancora bisognano lunghe serie di osservazioni per discernere in ciascun luogo tutte le forze concorrenti a questo fenomeno. Intanto mercè i lavori di vari sperimentatori un' importante quistione sembra decisa, e sopra ogni altro da quelli degli uffiziali della *Venere* ;cioè di sapere se le variazioni diurne sono le stesse sulle coste orientali ed occidentali di una medesima terra ferma. Ben si comprende ch' evvi in questo un dato essenziale per la spiegazion del fenomeno; dappoich'evvi un tal legame fra il moto del sole ed i moti diurni dell' ago, che fu cosa naturalissima di riferire questi ultimi ad alcuni cangiamenti

di temperatura negli strati superficiali del suolo; e siccome le acque e le terre ferme si trovano rispetto a ciò in condizioni totalmente diverse, gli aghi situati sulle coste orientali ed occidentali senza alcun dubbio alle stesse variazioni non si offriranno. Ora gli uffiziali della *Venere* hanno osservato a *Petropauloskoi* sulla costa *occidentale del Kamtschatka* gli stessi moti diurni in quanto alle ore ed alle ampiezze, che si sarebbero sull'*orientale* osservate. L'inegual distribuzione del calore a dritta ed a sinistra del meridiano magnetico sembra dunque che non esercili un'influenza notevole sulle variazioni diurne dell'ago calamitato.

Gli stessi uffiziali hanno comprovato eziandio nell'emisfero australe; a Callao sulle coste del Perù, un fatto importante già dal Sig. Gay dinotato e posto da lui totalmente fuori dubbio sopra molti punti della costa del Chili e particolarmente a Valdivia con un'intera annata di osservazioni. L'ago ha in questi spazi durante il dì tre epoche di fermata ovvero una doppia oscillazione: Il mattino cammina all'est, nella metà del giorno retrocede verso l'ovest, poi la sera cominciando da tre o quattro ore dopo mezzodì ripiglia il suo moto verso est (*Conti renduti*, t. II p. 330, e t. II, p. 329). Nessun fenomeno consimile è stato finora osservato nell'emisfero boreale.

Prima che questo fatto fosse bene determinato, erasi pensato che le variazioni diurne australi fossero analoghe alle variazioni boreali per le ore ed ampiezze, ma contrarie pel senso del moto; ed erasi in tal modo indotto a questa conseguenza, che nella zona equatoriale vi dovesse essere in qualche parte, o presso l'equatore terrestre, o presso l'equatore magnetico, una linea senza variazioni diurne; essendo impossibile di passare da un moto ad un altro contrario senza un punto di riposo. Ora fa mestiere, senza perdere di vista tal conseguenza, di cercare se questa linea di riposo esista, i suoi scostamenti annali o secolari, se ne offre; ma vuolsi nel tempo stesso disaminare l'estensione ed i limiti geografici di questo moto diurno a doppia oscillazione, con pro-

varne tutte le circostanze rispetto alle stagioni, ed alle condizioni geologiche ed idrografiche, e finalmente cercare se non fosse esso medesimo un modo particolare del passaggio dall'emisfero boreale all'australe, sopra una certa zona di cui si dovrebbe stabilire la posizione rispetto all'equatore terrestre o all'equatore magnetico.

Si vede che le variazioni diurne non offrono alle nostre ricerche un subbietto meno vasto delle declinazioni stesse, e che questo subbietto si complica di circostanze novelle straordinarissime.

In quanto alla cagione, che questi moti produce, è ignoto finora se è una forza secondaria o perturbatrice, posta accidentalmente in atto sotto l'influenza del calore, della luce, o dal raggiamento solare, ovvero sia la stessa forza magnetica, che prova integralmente nella direzione ed in densità giornaliere modificazioni, che ne cangiano periodicamente gli effetti sullo emisfero illuminato della terra; imperocchè ben possono gli aghi soffrire perturbazioni la notte, ma essi generalmente non provano variazioni tanto sensibili, tanto regolari, quanto il dì. Pur tuttavia dobbiamo osservare che questa distinzione non ugualmente si applica a tutte le teoriche del magnetismo terrestre, dappoichè nella teorica delle correnti o profonde, o superficiali, la cagione perturbatrice di leggieri confonderebbesi colla cagion generale.

Le variazioni diurne sono particolarmente sotto la influenza delle aurore boreali, siccome vedremo al § VI; ma non sembra che i tremuoti, i quali alcuna volta operano sulla stessa declinazione, possano rompere la regolarità del moto diurno in altra guisa, che con una semplice azione meccanica. Questo fatto è stato ancora ultimamente confermato nel viaggio della *Venere*, poichè il camino diurno dell'ago ad *Acapulco* sulla costa occidentale del Messico, non venne alterato dai frequenti tremuoti, che si facevano sentire in pochissima distanza su tutta la costa orientale.

§. III. *Inclinazione.*

543. Sembra che l'inclinazione per ogni luogo della terra abbia un moto progressivo come la declinazione; ma giusta la tavola da noi data per Parigi (t. 2, pag. 33), vedesi che niente ancora sembra indicare che questo moto si approssimi al termine, dove si deve sensibilmente rallentare, o per rimanere stazionario, o per divenire retrogrado. Non è un mezzo secolo ancora che l'inclinazione si sa osservare con bastante esattezza, ed in questo intervallo essa è stata irregolarmente, ma quasi continuatamente, decrescente a Parigi, senza che rispetto a ciò si osservi una sensibile differenza fra gli ultimi anni ed i precedenti.

Quel che abbiamo detto della declicazione si applica all'inclinazione. Non è mica dal considerare quel che accade a Parigi od anche in Europa che si possa ottenere qualche importante deduzione per la scienza. I fenomeni del magnetismo al pari di quelli, della distribuzion del calore, del moto dell' atmosfera, e dell' equilibrio delle acque appartengono essenzialmente a tutto il Globo terrestre. Sopra questi soggetti le osservazioni locali fatte colla più esatta assiduità per lunghi prosiegui di anni non possono in ultimo risultamento essere considerati, se non come punti luminosi impercettibili, che vogliono essere cumulati e stretti insieme in numero infinito per dare una luce sensibile. Adunque bisogna da tutte parti moltiplicare delle serie di osservazioni secolari, prima di avanzare sulle leggi di questi fenomeni immature conclusioni; ma siccome non ci ha speranza che tutt'i paesi, compresi anche i più culti, possano con lo stesso zelo o con lo stesso successo concorrere ad investigazioni di questa natura, ei giova supplire con metodi speditivi ai dati, che infallibilmente mancheranno sopra un gran numero di punti. Ed in virtù di queste considerazioni la scienza mette una particolare importanza a conoscere il progresso de' fenomeni in queste o in quelle regioni, che sono in certo modo i luoghi suoi prediletti. Pel magne-

tismo, e soprattutto per quanto risguarda l' inclinazione e l'intensità, le regioni importanti sono quelle dell'*equatore magnetico* e de' *poli magnetici*. Di fatto si comprende che, se l'equatore magnetico fosse perfettamente noto in tutte le sue tortuosità, che lo fosse anche in tutti gli scostamenti e le deformazioni, che prova da un tempo all' altro; che la situazione de' due poli magnetici, e la legge de' moti loro fosse ancora un dato certo per la scienza, senza dubbio basterebbe conoscere le variazioni dell' inclinazione, della declinazione e dell' intensità sopra di un numero di punti ristrettissimi per discoprire finalmente la legge, secondo la quale tutt' i cangiamenti magnetici da noi osservati si compiano.

La direzione dell' equatore magnetico è stata determinata per più della metà del suo corso da un grandissimo numero di esperimenti. Questa parte la più studiata comprende l'oceano Atlantico, le coste orientali, ed occidentali dell'America ed il grande oceano equinoziale fino al 150mo grado di longitudine; poi il grande arcipelago di Asia da Borneo fino al 175mo grado di longitudine orientale; ma l'interno dell'America, tutta l'Affrica e l' oceano indiano presentano solo un piccol numero di osservazioni isolate. Vedesi sulla figura 405 la traccia della metà meglio conosciuta dell' equatore magnetico, eccettuata la parte dell'oceano atlantico, che non ha potuto essere indicato da questo genere di rappresentazione. Anche questa carta è dovuta al Sig. Duperrey; essa è destinata particolarmente a mostrare la posizione geografica de' poli, ed il segno delle curve che si otterrebbero procedendo dall' equatore terrestre delle bussole di declinazione verso ciascun polo, sotto condizione che in ogni luogo il meridiano magnetico fosse il punto osculatore della curva descritta, ovvero che la direzione dell' ago di declinazione fosse la tangente di questa curva. Le linee irregolari ottenute in questo modo dal Sig. Duperrey da dieci in dieci gradi di longitudine hanno il vantaggio di dare a prima vista un' idea generale della declinazione o della traccia de' meridiani magnetici da un polo all' altro. Le altre linee, che vanno dall' est

all' ovest e perpendicolari alle prime sono quelle che si otterrebbero con la bussola d'inclinazione, conducendola sotto la doppia condizione, che in ciascun luogo l'ago d' inclinazione fosse verticale, e che il piano di rotazione, nel quale allora può moversi, fosse il piano osculatore della curva descritta sulla superficie terrestre. Queste curve sono in certo modo de' paralleli magnetici; ma purtuttavia la discussione degli esperimenti ha mostrato che non sono nè curve di eguale inclinazione, nè di eguale intensità.

Per determinare sperimentalmente le posizioni geografiche de' vari punti dell' equatore magnetico, si adopera la formola seguente, sulla quale faremo ritorno § V.

$$\text{tang. } m = \frac{\text{tang. } i}{2}.$$

i e un' inclinazione molto prossima all' equatore magnetico per non oltrepassare 25 ovvero 30°.

m è la *latitudine magnetica*, cioè l'arco compreso fra l' equatore magnetico e la stazione, in cui si osserva l' inclinazione i; essendo questo arco calcolato sul *meridiano magnetico* della stazione.

Adunque per fissar sul globo o sopra la carta un punto dell' equatore magnetico, tutto si riduce ad osservare nel sud o nel nord dell' equatore un' inclinazione inferiore a 30°, a determinare accuratamente la longitudine e la latitudine terrestre del luogo dell' osservazione, non che la sua declinazione, a delinear sulla carta il corrispondente meridiano magnetico, ed a prendere sopra la sua direzione un arco eguale al valore di m dato dalla formola precedente; l' estremità di questo arco è uno de' punti dell' equatore magnetico, del quale riesce allora facile il determinare le coordinate geografiche.

Del rimanente per supplire a quanto la figura 405 non può rappresentare, io do nella seguente tavola, secondo il Sig. Duperrey da 10 in 10 gradi di longitudine, le varie latitudini australi o boreali, nelle quali l'equatore magnetico taglia i meridiani terrestri corrispondenti all' anno 1824.

EMISFERO BOREALE.				EMISFERO AUSTRALE.			
Longitudine E.		Latitudine N.		Longitudine O.		Latitudine S.	
3°	20'	0°	00'	0°	00'	2°	30'
10	»	3	15	10	»	8	20
20	»	6	45	20	»	10	30
30	»	9	15	30	»	14	40
40	»	10	55	40	»	15	00
50	»	11	50	50	»	15	25
60	»	15	40	60	»	14	40
70	»	10	55	70	»	11	30
80	»	9	30	80	»	8	50
90	»	8	10	90	»	5	35
100	»	7	30	100	»	3	20
110	»	6	30	110	»	2	40
120	»	6	20	120	»	2	35
130	»	6	55	130	»	2	20
140	»	6	45	140	»	2	00
150	»	6	15	150	»	2	00
160	»	3	55	160	»	2	5
170	»	1	10	170	»	0	00
180	»	0	00	180	»	0	00

I *poli magnetici* non presentano difficoltà nella loro determinazione, se non perchè in certo modo si trovano gettati agli estremi del mondo in regioni inaccessibili o circondati almeno da' pericoli più inevitabili. Intanto il capitano Ross ha trionfato di tanti ostacoli il primo, e nel suo memorabil viaggio del 1830 è giunto a collocar la sua bussola sul polo boreale ed a segnare con esatezza il posto, che allora occupava sulla superficie terrestre. È il punto segnato sulla figura 405, a quel tempo la sua longitudine era di 99° — 7' — 9'' all'ovest del meridiano di Parigi e la sua latitudine di 70° — 5' — 17''. Le osservazioni fatte dal capitano Ross in longitudini diversissime e quasi intorno intorno al polo non possono lasciare alcun dubbio sull'esatezza di questa determinazione; egli ha contemporaneamente confermato

i due caratteri, che servono a riconoscere il polo; la verticalità dell' ago d' inclinazione in tutti gli azimut e l'affollamento dell' ago di declinazione, che allora non ha veruna forza direttrice.

Il *polo australe* rappresentato nella figura 405 è stato determinato dal Sig. Duperrey, combinando le osservazioni circompolari, e delineando le sue curve meridiane, come poco dianzi dicemmo. Si comprende che un risultamento ottenuto in tal modo non può essere scevro di qualunque incertezza; secondo l' opinione dello stesso Sig. Duperrey potrà essere in errore di qualche gradi, dappoichè sono tante rare le recenti esperienze in quegli spazi, ch'è stato forza ricorrere ad antiche osservazioni, le quali erano forse meno esatte, e non potevano da un'altra parte ricevere convenevoli correzioni per esser condotte all'anno 1824.

Giova sperare che il viaggio del capitano Durville verso il polo australe ci fornirà i numerosi ed importanti dati, che la scienza aspetta su questa quistione fondamentale. Ultimamente un gran numero di osservazioni s'è fatto per riconoscere se l'inclinazione muta con l'altezza al di sopra del livello del mare, e sembra risultarne che prova una lievissima diminuzione: il Sig. Humboldt l'ha rinvenuta di 2' per 260 metri operando sulla superficie del suolo e nelle profondità di una mina; ed il Sig. Kupfer ha trovato lo stesso risultamento nel suo viaggio al monte Elbrouss. Il qual fatto non è senza importanza, dappoichè, s'è generale, come si può supporre, condurrà senza dubbio a riconoscere il genere di influenza, che possono esercitare le grandi catene ed i grandi massi, che formano il rialto della terra.

§. *IV. Intensità.*

544. Noi abbiamo indicato (t. 2, p. 40 e 280) i mezzi, che possono adoperarsi per ottenere l'intensità magnetica della terra, o che si voglia avere l' intensità orizzontale soltanto, o che si voglia aver la totale, quella cioè che si esercita secondo l' ago d' inclinazione la-

sciato a sè stesso nel piano del meridiano magnetico. Noi dobbiamo aggiugnere che i risultamenti ottenuti in tal modo debbono patire una correzione dipendente dalla temperatura: imperocchè ora è ben determinato che, nello stesso luogo e nello stesso momento, lo stesso ago fa più o meno oscillazioni nel medesimo tempo, secondo ch'è ad una temperatura più bassa o più elevata. Nondimeno, se questo effetto del calore è generico o quasi senza eccezione, non è lo stesso della sua intensità, che negli stessi limiti sembra oltremodo mutabile secondo la forma e le dimensioni degli aghi, e forse ancora secondo altre circostanze, di cui non s'è fatta abbastanza l'analisi. Per questo genere di correzioni la maggior parte dei fisici adottano questa formola:

$$s = s' \{ 1 - a (t' - t) \};$$

s' è il numero de'secondi, che si son calcolati per 100 ovvero 200 oscillazioni alla temperatura t'; s è il numero de'secondi, che si sarebbero calcolati alla temperatura t per lo stesso numero di oscillazioni; a è il coefficiente dell'ago, e si determina precedentemente portando artificialmente l'ago a diverse temperature note e comprese fra i convenevoli limiti ed osservando i valori corrispondenti di s e di s'.

I viaggi d'intorno al globo e quelli fatti da un grandissimo numero di osservatori, in quasi tutte le contrade di Europa, ed in alcuni punti delle terre ferme dell'Asia e dell'America, hanno di già fornita l'intensità magnetica della terra di una moltitudine d'importanti risultamenti. Si è tentato discuterli e segnare sul globo la traccia delle *linee isodinamiche* o di eguale intensità: ma un profondo esame di questa discussione richiederebbe maggiore spazio, che io gliene possa qui dedicare; il quale debbo limitarmi nel dire che, dietro le attuali nostre cognizioni, niente sembra più irregolare, anche più bizzarro del cammino generale delle linee isodinamiche; non possiamo impadronirci di alcun principio, nesso, corrispondenza tra le improvvise e multiplici

inflessioni, che presentano; non evvi rispetto ad esse niuna regola generale; che non trovi bella e parata la sua eccezione. Sicchè dapprima si era creduto che sopra l'equatore magnetico l'intensità fosse costante; novelle ricerche per lo contrario mostrano e sembrano indicare notabili differenze; era risguardato certissimo che l'intensità cresce con l'inclinazione o con la latitudine magnetica, molti esempi mostrano il contrario, e gli osservatori *della Bonita* hanno dimostrato che a Payta, dove l'inclinazione è solo di 4° — 23', l'intensità è maggiore che non a Cobija, dove l'inclinazione è di 24° — 13', benchè questi punti non siano lontanissimi, il primo al nord ed il secondo al sud dell'equatore magnetico, e bench' entrambi presentino declinazioni poco diverse. In questo stato di cose le osservazioni possono moltiplicarsi, e mettervisi novelle cure per assicurare la loro perfetta esattezza.

Le varie teoriche del magnetismo terrestre sembrano accordarsi ad istabilire che l'intensità magnetica dei poli debb'esser doppia di quella dell'equatore; ma questa stessa deduzione, prima di essere ammessa come stretta conseguenza, ancora avrebbe mestieri di verificazioni sperimentali più compiute. Il legame, che stabiliscono fra le intensità corrispondenti alle diverse latitudini magnetiche, viene espresso dalla formola seguente, sulla quale ritorneremo §. V:

$$r = \sqrt{1 + 3 \text{ sen.}^2 m},$$

essendo 1 l'intensità sull'equatore magnetico, ed r l'intensità corrispondente alla latitudine magnetica m.

Di fatto questa formola dà $r = 2$ per $m = 90°$, ch'è quasi il valore, che gli si dee dare per l'uno e per l'altro polo: noi diciamo *quasi*, dappoich'essendo l'equatore una curva irregolare, i due poli non possono esserne da tutt' i lati distanti di 90°.

Molte ricerche si son fatte ancora sulle quistioni di sapere se l'intensità diminuisce a misura che uom s'ele-

va sulla verticale medesima, e s'è stabilito almen questo fatto, che, s'evvi diminuzione, la è debole fuor di misura. In America l'intensità è stata trovata la stessa alla cappella di Guadalupa ed a Santa-Fè di Bogota; su' Pirenei il Sig. Forbes annunzia una diminuzione di 1 millesimo per 1000 metri; nel Caucaso sul Kharbis il Sig. Kupfer ne annunzia una di 1 millesimo per 300 metri. Queste discordanze lasciano sussistere ancora qualche dubbio sul fatto stesso, ma intanto le non hanno niente, che debba far meraviglia, se si considera che qui si vuole tener ragione non solo delle correzioni di temperature, ma eziandìo della variazione diurna della medesima intensità, le cui leggi sono ignorate, cioè della variazione diurna dell'inclinazione ch'è incerta, e della variazione non meno incerta, che l'inclinazione prova, siccome uom si eleva.

§. V. *Discussione di alcune formole.*

345. Ora noi possiamo esaminar s'è possibile di rappresentare i fenomeni magnetici della terra, supponendo che risultino dall'azione unica di due poli eguali e contrari posti in un qualsiasi modo nel seno della terra.

Prendendo sopra l'asse delle x a dritta ed a sinistra dell'origine ed alla distanza 1 due punti p e p', l'uno rappresentante un polo australe ed un boreale l'altro, le azioni di questi punti su di una molecola a di fluido australe avendo per coordinate x ed y saranno $\frac{1}{r^2}$ ed $\frac{1}{r'^2}$, prendendo per unità l'intensità della distanza 1, e rappresentando con r ed r' le distanze di questa melecola da' punti p e p'. Queste forze decomposte parallelamente agli assi daranno per componenti:

$$x = \frac{\cos. a}{r^2}, y = \frac{\text{sen. } a}{r^2}; x' = \frac{\cos. b}{r'^2}, y' = \frac{\text{sen. } b}{r'^2},$$

dinotando con a e b gli angoli, che fanno con l'asse

delle x le forze emanate da p e p', essendo questi angoli calcolati come ordinariamente secondo il senso dell'azione delle forze. Il quadrato della risultante t sarà dato dall'equazione

$$t = \frac{1}{r^4} + \frac{1}{r'^4} + \frac{2 \cos. (a - b)}{r^2 r'^2}$$

Per avere l'intensità sopra gli assi delle x o sopra la linea de' poli ei basta fare $a = 0$, $b = 180$, ovvero $a = 180$, e $b = 0$, in entramb'i casi cos. $(a - b) = -1$, e l'equazione diventa:

$$t = \pm \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r'^2} \right);$$

e, siccome $r' = r \pm 2$, ne risulta:

$$t = \pm \frac{4}{r^3}$$

pel caso in cui r è grandissima rispetto all'unità.

Per avere l'intensità sopra l'asse delle y o sull'equatore, ei basta notare che allora $r = r'$; cos. $(a - b) = \frac{2 - r^2}{r^2}$, ed il valore di t diventa $t = \pm \frac{2}{r^3}$, cioè supponendo r grandissima rispetto alla semi-distanza de' centri di azioni, l'intensità presa sulla linea dei poli è per una distanza eguale doppia dell'intensità presa sull'equatore; ma non è doppia che in questa ipotesi. Si può anche osservare che le intensità sull'equatore e sulla linea de' poli allora decrescono come il cubo della distanza.

Se si prende l'origine delle coordinate pel centro di una circonferenza di un qualsivoglia raggio d sarà agevole di esprimere l'intensità in un qualsiasi punto di siffatta circonferenza, per mezzo della distanza polare q, cioè per mezzo dell'angolo q, che il raggio corri-

spondente fa con l'asse delle x, ch'è la linea de'poli. Di fatto si ha:

$$r = \sqrt{d^2 + 1 - 2d\cos. q}, \; r' = \sqrt{d^2 + 1 + 2d\cos. q}.$$

$$2\cos.(a-b) = -2\cos. p\,ap' = -\left\{\frac{r^2 + r'^2 - 4}{rr'}\right\}.$$

Sostituendo questi valori di r, r', e $\cos.(a-b)$, l'espressione generale del quadrato della risultante diventa:

$$t^2 = 2\left\{\frac{(d^2+1)^2 + 4d^2\cos.^2 q - (d^2-1)\sqrt{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos.^2 q}}{\{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos.^2 q\}^2}\right\}.$$

Essendo l'intensità nell'equatore, dietro quel che vedemmo testè $\frac{2}{r^2}$ ovvero $\frac{2}{(d^2+1)^2}$, facil cosa è il vedere che, prendendola per unità, il quadrato dell'intensità t' per una distanza polare diverrà:

$$t'^2 = \frac{(d^2+1)^2}{2}\left\{\frac{(d^2+1)^2 + 4d^2\cos.^2 q - (d^2-1)\sqrt{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos.^2 q}}{\{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos.^2 q\}^2}\right\}$$

o solamente

$$t' = \sqrt{1 + 3\cos.^2 q}, \text{ ovvero } t' = \sqrt{1 + 3\,\text{sen.}^2 m},$$

quando d è grandissimo rispetto ad 1, perchè possiamo limitarci a'due primi termini dello sviluppo del radicale, ch'entra nell'espressione generica di t'^2, dopo avergli dato la forma

$$d^n\left(1 - 2\frac{(1 - 2\cos.^2 q)}{d^2}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Sicchè in questa ipotesi l'intensità magnetica divien semplicissima per qualsivoglia distanza polare, o per qualsivoglia latitudine magnetica $m = 90° - q$, e si trova di fatto $i' = 2$, per $q = 0$, ovvero $m = 90°$, conforme a ciò che generalmente si ammette, siccome dicemmo pagina 313.

Intanto la totalità delle osservazioni d'intensità, che sono state fatte finora a diverse distanze dall'equatore magnetico, non bastano ad istabilire con certezza che l'intensità verso i poli è doppia dell'intensità dell'equatore magnetico; sicchè, ammettendo, come generalmente si pratica, che i due centri magnetici siano vicinissimi l'uno all'altro rispetto alla lunghezza del raggio terrestre, e che siano altresì vicinissimi al centro della terra si fa una ipotesi, la qual può allontanarsi molto notabilmente dal vero. Per cagion di esempio facilmente si scorge che $d = 4$, e $d = 5$ danno per le correlazioni delle intensità polari ed equatoriali 2, 5 e 2, 29; e siccome negli esperimenti fatti sinora niente impedisce assolutamente di ammettere queste intensità, soprattutto l'ultima; così niente finora non prova che i centri magnetici non siano al quarto od anche al quinto del raggio terrestre.

Questo dubbio acquista maggior vigore eziandìo, quando si scende all'esame della legge di accrescimento delle inclinazioni.

Se in fatti ce ne riportiamo alla composizione delle forze, che ci ha menati all'espressione generica della risultante, è facile a vedere che l'angolo u, il quale fa questa risultante con l'asse delle x, è dato dalla correlazione:

$$\text{tang. } u = \frac{r'^2 \text{ sen. } a + r^2 \text{ sen. } b}{r'^2 \cos. a + r^2 \cos. b} = \frac{y\,(r^3 + r'^3)}{x\,(r^3 - r'^3) + r'^3 + r^3}$$

Da un'altra parte si ha tang. $u = -$ tang. $(i + m)$, chiamando m la latitudine magnetica, ed i l'inclinazione, cioè l'angolo della risultante o dell'ago con la perpendicolare al raggio, che unisce il centro dell'ago al

punto, che forma la semi-distanza de' centri magnetici; e poichè

$$r = \sqrt{d^2 + 1 - 2\,d \text{ sen. } m}\,,\; r' = \sqrt{d^2 + 1 + 2\,d \text{ sen.} m}$$

si può calcolar facilmente l'esatto valore della tang. i, quando si conosce la latitudine magnetica.

Se vogliam limitarci ad un primo approssimamento negli sviluppi di r ed r', ne risulterà:

$$\text{tang. } i = 2 \text{ tang.} m \left\{ \frac{d^2 - \text{sen.}^2 m}{d^2 + 1 + 2 \text{ sen.}^2 m} \right\}$$

e per d grandissimo:

$$\text{tang. } i = 2 \text{ tang. } m,$$

ch'è la formola, di cui abbiamo parlato pagina 309, e della quale abitualmente si fa uso per determinare i punti dell'equatore magnetico terrestre con osservazioni d'inclinazioni comprese fra o e 30°. Ma i punti determinati con questo metodo potrebbero essere in errore più di due gradi per inclinazioni di 25 a 30°, se i centri magnetici si trovassero al quarto o al quinto del raggio. Ancora un'altra cagione potrebbe contribuire ad introdur degli errori nell'equatore magnetico che si è disegnato: cioè la supposizion, che s'è fatta, che il centro della terra coincida notabilmente col punto, che forma la semi-distanza da'centri magnetici.

La seguente tavola contiene le inclinazioni i calcolate dall'esatta formola per le latitudini magnetiche prese da 5 in 5° nella supposizione $d = 4$, e le inclinazioni i' calcolate supponendo che la tangente dell'inclinazione è doppia della tangente della latitudine.

m	u per $d=4$	i	i'
0° 30'	178° 35' 6"	0° 54' 54"	0° 59' 59"
1	177 10 25	1 49 35	1 59 57
5	165 57	9 3 0	9 55 30
10	152 15	17 45	19 25 30
15	139 10	25 50	28 11 10
20	126 52	33 8	36 3 10
25	115 21	39 39	43 0 10
30	104 33	45 27	49 6 30
35	94 23	50 37	54 28 10
40	84 42	55 18	59 12 30
45	75 30	59 30	63 26 »
50	66 35	63 25	67 14 20
55	57 55	67 5	70 42 10
60	49 25	70 35	73 53 50
65	41 2	73 58	76 52 30
70	32 42	77 18	79 41 10
75	24 32	80 28	82 28 20
80	16 21	83 39	84 58 40
85	8 10	86 50	87 29 40
89	1 38 0	89 21	89 30 »
89 30	0 49 0	89 41	89 45 »

In fatti si vede che, per latitudini magnetiche, le quali oltrepassano 5 o 6°, le inclinazioni calcolate nell'ipotesi di d grandissimo diventano rapidamente maggiori di quelle, che sono calcolate nell'ipotesi di $d=4$, e queste ultime generalmente più si accostano a' fatti che si osservano.

Se i fenomeni generali del magnetismo terrestre potessero essere rappresentati, ammettendo due centri magnetici, i quali fossero gli stessi per tutt'i punti della superficie terrestre; senz' alcun dubbio si giungerebbe ad esprimerne non solo le intensità e le inclinazioni, ma le declinazioni ancora in un modo esatto per tutt'i punti, in cui non esistesse causa locale perturbatrice. Una costruzione semplicissima mi ha condotto alla seguente formola per rappresentare la declinazione v' sopra un parallelo all' equatore terrestre corrispondente alla latitudine astronomica l':

$$\text{tang.}\, v' = \frac{\cos.\, a\, \text{sen.}\, z \cos.\, l' - p.\, \text{sen.}\, a\, \text{sen.}\, (z - b)\, \text{sen.}\, l'}{\text{sen.}\, a \sqrt{1 - p^2\, \text{sen.}^2\, (z - b)}}.$$

a, angolo che l'asse magnetico fa col parallelo, o complemento dell' angolo ch'esso fa con l' asse terrestre;

$p = \frac{e}{r}$, essendo r il raggio del parallelo, e la distanza, ch' esiste tra il centro di questo parallelo ed il punto in cui l' asse magnetico va ad attraversar il suo piano;

b angolo che la linea e fa con la proiezione dell'asse magnetico sul piano del parallelo;

z angolo formato dalla proiezione dell'asse e da una retta, che congiunge un qualsiasi punto della circonferenza del parallelo al punto, in cui l' asse attraversa il suo piano; z è calcolato da o a 360°.

Se invece d' un parallelo si considera lo stesso equatore terrestre, hassi $l' = 0$, e la declinazione v corrispondente ad un qualsivoglia punto della circonferenza equatoriale è data dalla formola:

$$\text{tang.}\, v = \frac{\cos.\, a\, \text{sen.}\, z}{\text{sen.}\, a \sqrt{1 - p^2\, \text{sen.}^2\, (z - b)}}$$

Sicchè la declinazione è nulla per $z = o$ e 180; e quando p è piccolo, essa giunge al suo *maximum* pei valori di z, che sono prossimi a $z = 90°$ e 327°, qualunque sia b.

Ma quel, che soprattutto si deve notare, è che dall' una e dall' altra parte della proiezione dell' asse magnetico sull' equatore, le declinazioni, che sono nulle su questa proiezione, debbono riprodursi esattamente le stesse, al segno prossimo pe' valori di z, che differiscono di 180°: or questa esatta simmetria delle declinazioni non già negli estremi di un medesimo diametro, ma negli estremi di una stessa linea, passando pel punto dove l'asse magnetico attraversa l' equatore, in nessuna guisa non si riproduce: al contrario sulla circonfe-

renza dell'equatore vedesi una manifesta dissimetria: invece de' due punti, dove la declinazione è nulla, se ne trovano tre più o meno separati gli uni dagli altri, ed invece di aver de' *maximum* di declinazione uguali ed opposti, accade che uno di questi *maximum* avanzi l'altro di molti gradi. Adunque ne risulta evidentemente l'assoluta impossibilità di riprodurre fenomeni magnetici, supponendo che per tutt'i punti della terra i centri di azione siano gli stessi. Io insisto su tal conseguenza, ch'è importantissima, facendo osservare che questo difetto di simmetria nelle declinazioni non sembra potersi spiegare con azioni locali particolari, le quali solo ad una breve distanza dall'equatore si estenderebbero, dappoichè le declinazioni de' vari paralleli, o nell'emisfero boreale o nell'australe, di molto ancora si allontanano dalla formola, che li dovrebbe esprimere, e non pare possibile che possa darsi a p un convenevol valore per rappresentarli mediante questa formola con sufficiente approssimazione.

Risulta da quel che precede:

1° Ch'è importantissimo di moltiplicar le osservazioni d'intensità verso i poli magnetici, per riconoscere la vera corrispondenza, ch'evvi fra questa intensità e quella dell'equatore magnetico;

2° Che qualche dubbio può rimanere sull'estensione in latitudine, in cui strettamente è lecito di ammettere che la tangente dell'inclinazione è doppia della tangente della latitudine magnetica; e quindi sulla posizione verace di molti punti dell'equatore magnetico, che sono stati determinati da questa formola, applicandovi delle osservazioni d'inclinazione fatte in latitudini di 15, 25 ovvero 30°;

3° Che, ammettendo l'ipotesi di due poli magnetici eguali e contrari situati per altro in un modo qualunque nel seno della terra, non evvi alcuna possibilità di rappresentare con bastante approssimamento la totalità delle declinazioni osservate, nemmeno le declinazioni appartenenti all'equatore terrestre o ad un qualsiasi parallelo, e che questa impossibilità non risulta

dalle incertezze, che vi possono essere sulla vera traccia dell'equatore magnetico.

§. *VI. Aurore boreali.*

546. Il fenomeno delle aurore boreali apparisce il più magnifico, il più imponente, il più splendente di quanti ci si possano offrire allo sguardo, e nel tempo stesso il più intralciato, il più inestricabile, il più impenetrabile alle nostre ricerche. Prima di diventar palese le prime nozioni della scienza, le aurore si ammiravano, come si ammirava il tramontare ed il levarsi del sole, lo spettacolo del cielo ed il moto degli astri. Dopo ch'è stato concesso di risguardarli con occhi meno stupìti, si ammirano, si osservano, si misurano, e niente ancora s'è imparato sull'origine loro, sulle loro cause, sulle loro leggi, sulle condizioni fisiche e materiali delle loro apparizioni, nè anche sul luogo che occupano; dappoichè rimangono de' dubbi sulla quistione di sapere se siano chiuse nel seno dell'atmosfera, o se si manifestino al di là de' suoi limiti. Ciò sarebbe la disperazion della scienza, se la scienza potesse disperarsi; ma essa apprende tuttodì a conoscere meglio ch'esistono tra' fenomeni naturali de' legami di subordinazione necessaria, che tentar premature spiegazioni significa sbagliare il metodo, che fa mestieri sapere ignorare, o piuttosto sapere aspettare; cioè piuttosto cercar fenomeni che spiegazioni. Forse un semplice fatto non veduto fino al dì d'oggi basterà per togliere il velo, che da sì lungo tempo ci nasconde i misteri dell'aurora boreale.

Basta indicare quanto il fenomeno è grande, e quanto grande la nostra ignoranza, per far comprendere che interi volumi bisognerebbero, se si volesse dar ragione di tutte le idee, di tutt'i sistemi, di tutti gli sforzi dello spirito o dell'immaginazione, di cui è stato scopo. Ma non possiamo addossarci qui un tal lavoro, e ci limiteremo a riferire la descrizione di un'aurora boreale tal quale venne fatta sopra luogo dal Sig. Lottin, luogotenente di vascello, uno de' laboriosi e zelanti osservatori della spedizione d'Islanda.

L'osservatorio meteorologico, dove il Sig. Lottin ha passato 8 mesi (da settembre 1838 ad aprile 1839), era stabilito a Bossekop, sulla costa di West-Finmark a 70° gradi di latitudine boreale: in questi 206 giorni sonosi osservate 143 aurore boreali, delle quali 64 la notte di 70 *giorni*, che domina in quegli spazi dal 17 novembre fino a 25 gennaio.

Ecco ora come il Sig. Lottin descrive il fenomeno (la figura 404, copiata da'suoi disegni, potrà agevolare l'intelligenza della descrizione):

« La sera fra 4 ed 8 ore il leggero nebbione, che domina quasi abitualmente al nord nella direzione del Fiord, all'altezza di 4 a 6 gradi, si colora nella sua parte superiore, o si guarnisce piuttosto de' bagliori dell'aurora, che sta di dietro. Questa bordura diventa più regolare e forma un vago arco di un color giallo pallido, i cui orli sono diffusi ed i cui estremi si posano sulle terre.

« Quest' arco sale più o men lentamente, rimanendo la sua cima nel meridiano magnetico o molto dappresso; il che non si può facilmente determinare con esattezza per cagione del suo moto ascendente e della sua forma depressa.

« Incontanente delle strisce nerastre separano regolarmente la materia luminosa dell'arco: i raggi sono formati; essi si allungano, si accorciano lentamente od istantaneamente; *dardeggiano*, aumentando e diminuendo subitamente splendore. La parte inferiore, i *piedi* de' raggi offrono sempre la più viva luce e formano un arco più o men regolare: spesso la lunghezza di questi raggi è svariatissima, ma tutti convergono verso uno stesso punto del cielo indicato dalla direzione della punta sud dell'ago d'inclinazione; alcune volte si prolungano fino al lor punto di riunione, formando in tal modo il frammento di un' immensa cupola luminosa.

« L'arco continua a salire verso lo zenit; prova nel suo bagliore un movimento ondulatorio, cioè che dall'uno all'altro piede lo splendore di ciascun raggio cresce successivamente d'intensità; questa specie di corren-

te luminosa si mostra molte volte di seguito, e molto più spesso dall' ovest all'est che in senso contrario. Alcune volte, ma di rado, un moto retrogrado ha luogo immediatamente dopo il primo, e non appena questo bagliore ha percorso l' un dopo l' altro tutt' i raggi dall' ovest all' est, si dirige subito in senso inverso, ritornando in tal modo al punto suo di partenza, senza che si possa dire, se allora siano i raggi, che provano un moto di trasferimento quasi orizzontale, o se questo baglior più vivo si trasporti da un raggio all'altro di poco a poco senza che questi soffrano spostamento.

« Ancora l'arco presenta un moto alternativo nel senso orizzontale, figurando le ondulazioni o le pieghe di un nastro o di un drappo agitato dal vento, come vedesi nella figura 404. Talvolta uno de' suoi piedi ed anche amendue abbandonano l'orizzonte; allora le pieghe diventan più numerose, meglio espresse, l'arco più non è che una lunga striscia di raggi, la qual si ravvolge, si separa in molte parti, formando delle graziose curve, che si chiudono quasi in sè stesse, ed offrono nella volta celeste, non importa dove, ciò che probabilmente s'è denominato finora corone boreali. Allora lo splendore de' raggi varia subitamente d'intensità, vincendo quello delle stelle di prima grandezza; questi raggi dardeggiano con celerità, le curve si formano e si svolgono come le piegature e ripiegature di un serpe. Poscia si colorano i raggi: la base rossa, la metà verde, la rimanente conserva la sua luminosa tinta giallo chiara. Siffatti colori senza eccezione alcuna hanno serbato sempre queste relative posizioni: essi sono di una trasparenza ammirabile; il rosso si accosta alla tinta sangue chiaro, il verde a quello di un amaranto pallido. Diminuisce lo splendore, i colori spariscono, incontanente tutto si estingue o a poco a poco si affievolisce. Compariscono de'frammenti di arco novellamente, l'arco stesso torna a formarsi, continua il suo moto ascendente e si appprossima al zenit: i raggi per effetto della prospettiva diventano semprepiù corti, e si può far giudizio della doppiezza dell' arco, il quale offre in questo caso talora una larga zona

di raggi paralleli; dipoi il vertice dell'arco giunge al zenit magnetico; punto disegnato dalla punta sud dell'ago d'inclinazione. Allora i raggi sono veduti pe' piedi; se in questo istante si colorano, essi mostrano una larga striscia rossa, attraverso alla quale si discernono le gradazioni verdi, che loro stan sopra; e, se patiscono questo moto di traslazione orizzontale, di cui abbiamo parlato più sopra, i piedi formano una lunga zona tortuosa ed ondulante, mentre, in tutti questi continui cangiamenti, i raggi mai non provano oscillazione nel senso del loro asse, e sempre conservano il loro parallelismo.

» Nell'intervallo di tempo testè descritto, novelli archi si son presentati sull'orizzonte, cominciando sparsamente, o con raggi belli e formati e vivacissimi. Essi si succedono passando quasi per le medesime fasi, e si mantengono in distanza tra loro; se ne son noverate fino a nove, appoggiate a terra, e che con la loro disposizione richiamano quelle tele centinate che vanno di una in un'altra incanalatura, e raffigurano il cielo delle nostre scene da teatro. Alcune volte gl'intervalli diminuiscono; molti di questi archi si premono l'uno sull'altro: è una larga zona di raggi paralleli, che attraversano il cielo e vanno a sparire verso il sud, rapidamente indebolendosi dopo il lor passaggio nel zenit. Ma delle volte ancora, quando questa zona occupa l'alto del cielo, estendendosi dall'est all'ovest, la massa di raggi, che ha già oltrepassato il zenit magnetico incontanente sembra venire dal sud, e forma con essi al nord la verace corona boreale, tutt'i raggi della quale convergono verso il zenit. Sicchè indubitatamente quest'apparenza di corona non deriva, che da un semplice effetto di prospettiva, e l'osservatore situato in questo momento ad una certa distanza dal nord o dal sud non scorgerebbe che un arco.

« Essendo la zona totale del raggio meno doppia nel senso nord e sud che in quello est ed ovest, poichè spesso si posa sopra le terre, la corona ha una forma ellittica. Ma questo non sempre interviene: si è veduta circolare, non estendendosi i raggi disuguali a più di

8° in 12° del zenit, mentre altre volte giungono fino all'orizzonte.

» Se si pensa che tutti questi raggi allora dardeggino vivacemente, subito e di continuo variando nella lor lunghezza e nel loro splendore, che di belle tinte rosse e verdi le colorino ad intervalli, che abbiano luogo i moti ondulatorî, che le correnti luminose si succedano, e da ultimo che la volta celeste offra tutta quanta un'immensa e magnifica cupola scintillante, dominante un suolo coperto di neve, ch'esso medesimo fa da quadro abbagliante ad un mare calmo e nero come un lago di asfalto, non si avrà tuttavia che un'imperfettissima idea dell'ammirabile spettacolo, che si offre all'osservatore, e che non si può descrivere.

» La corona dura pochi minuti; formasi qualche fiata istantaneamente, senza verun arco precedente. Di rado ce ne ha più di due in una sola notte, e molte aurore niuna traccia ne han mostrata.

» La corona s'indebolisce, tutto il fenomeno è al sud del zenit, formando più pallidi archi, e che in generale spariscono prima di giungere all'orizzonte sud. Più comunemente tutto questo ha luogo nella prima metà della notte, dopo che l'aurora sembra di aver perduto d'intensità; fasci di raggi di strisce di frammenti di archi compariscono e spariscono ad intervalli, poscia i raggi diventano più diffusi, sono de' bagliori deboli ed incerti, che terminano occupando tutto il cielo aggruppati come piccoli cumuli e disegnati sotto il nome di *piastre aurorali*. La luce loro lattea spesso prova vivissimi cangiamenti nella sua intensità, simili ai movimenti di dilatazione e di contrazione, che si propagano dal centro alla circonferenza e viceversa, richiamando alla mente quelli degli animali marini detti *meduse*. Lo splendore crepuscolare a poco a poco sopravviene, ed il fenomeno gradatamente affievolendosi cessa di esser visibile.

» Altre volte i raggi compariscono ancora al cominciare del giorno, anche quando può leggersi senza difficoltà un testo stampato; poi di botto spariscono, ovvero, siccome il crepuscolo cresce, diventano incerti,

acquistano un colore biancastro e finiscono confondendosi coi cirrho-stratus di modo che diventa impossibile distinguerli da questa specie di nubi. »

Questa è l' apparenza dell' aurora boreale, quando si mostra nella sua più grande magnificenza; ma o lo stato del cielo o le circostanze atmosferiche non sono favorevoli sempre, ovvero le stesse condizioni, che determinano il fenomeno, non sono adempiute sempre nel tempo stesso; rarissime volte accade che possa osservarsi una compiuta aurora boreale, anche nelle regioni settentrionali. Ora la corona si forma in un modo dubbio ed incerto; ora l'arco non è compiuto od è multiplice in alcuni punti; ora finalmente si veggono delle nubi, che intercettano la luce, che si colorano ne' loro orli o nella loro doppiezza, e che alterano con mille accidenti più o meno notabili la forma regolare dell' aurora boreale. Allora si discerne tuttavia verso il nord una luce straordinaria, ma il fenomeno è confuso e mal diffinito. E si comprende che può presentare mille apparenze più o meno stupende.

Noi abbiamo parlato solo dell' aurora boreale dell'emisfero boreale, ma un fenomeno in tutto consimile si è osservato nell' australe; nè cade in dubbio che, verso il polo sud della terra, non si producano ancora aurore boreali, o se così si vuole, *aurore australi*. Frattanto le aurore del polo australe sono state soltanto vedute da' naviganti, non già osservate, misurate e descritte come le boreali; e solo per induzione si ammette che debbono avere le stesse correlazioni col magnetismo terrestre.

FINE.

INDICE DELLE MATERIE

DEL QUARTO VOLUME.

SECONDA PARTE

LUCE POLARIZZATA

CAPITOLO I.

Doppia rifrazione.

Numeri *Pagine*

442. Fenomeno generale della doppia rifrazione 5
443. De' cristalli ad un asse e della loro sezione principale . . . 6
444. Cristalli a due assi. 10
445. Leggi generali della doppia rifrazione nei cristalli ad un asse e due assi 12
446. Diversi esperimenti di doppia rifrazione 16
446. *bis*. Doppia rifrazione del vetro compresso 18

CAPITOLO II.

Fenomeni generali e leggi generali della polarizzazione.

447. Polarizzazione per riflessione 24
448. Polarizzazione per semplice rifrazione 27
449. Polarizzazione per doppia rifrazione . . . . . ib.
450. Polarizzazione per riflessione irregolare 28
450. *bis*. Polarizzazione della luce atmosferica . . . . . ib.
451. Legge del Sig. Brewster sull' angolo di polarizzazione . . 29
452. Legge di Malus sulla partizione della luce polarizzata . . . 30
453. Legge di Fresnel sull' intensità della luce riflessa 32
454. Movimento del piano di polarizzazione mercè la riflessione . 34
455. Polarizzazione parziale e polarizzazione compiuta, prodotta da molte successive riflessioni 36
456. Movimento del piano di polarizzazione per effetto della rifrazione 39
457. Della polarizzazione prodotta da rifrazioni successive. . . 41
458. Dell' azione scambievole dei raggi polarizzati 42

**

CAPITOLO III.

Colori della luce polarizzata.

459. Tinte colorate delle lamine parallele all'asse 51
460. Teorica di Fresnel su' colori delle lamine cristallizzate . . 53
461. Anelli colorati ne' cristalli ad un asse 61
462. Anelli colorati ne' cristalli a due assi 65
463. Frange iperboliche o parallele prodotte dai cristalli . . . 67
464. Polarizzazione circolare 69
465. Nozioni teoriche 70
466. Polarizzazione circolare dei raggi obbliqui 75
467. Polarizzazione circolare nei liquidi e nei gas 76
468. Polarizzazione circolare prodotta dalla riflessione sulle superficie metalliche lisciate 77
469. Diversi fenomeni di polarizzazione che si producono nei cristalli sovrapposti, ne' cristalli colorati, nel vetro temperato, riscaldato o compresso, ecc. . . . . ib.

LIBRO SETTIMO

DEL CALORE.

SECONDA PARTE.

Propagazione del calore e calorimetria

CAPITOLO I.

Propagazione del calore.

§. I. *Fenomeni generali del calore raggiante nell' aria e nel voto.*

470. Dell' esistenza del calore raggiante e dell' idea che possiamo farci de' raggi calorifici 80
471. Potere emissivo 81
472. Potere assorbente 86
473. Potere riflettente . . . . . ib.
474. Principio dell' equilibrio mobile di temperatura 87
475. Principio della ragione inversa del quadrato della distanza . 88
476. Principio dell' uguaglianza di temperatura in tutt' i punti di un circuito voto, le cui pareti siano mantenute ad una temperatura costante 89
477. Legge del coseno 90
478. Legge della riflessione 91
479. Velocità del calore . . . . . ib.
480. Paragone de' poteri emissivi, assorbenti e riflettenti delle varie sostanze. . . . . ib.
481. Equilibrio di temperatura in un circuito qualunque — Riflessione del freddo 93

§. II. *Fenomeni generali del calore raggiante nelle sostanze diatermane.*

482. Delle sostanze atermane e diatermane 95
483. Non tutt' i corpi diafani sono ugualmente diatermani, nè tutt' i corpi opachi ugualmente atermani . . . . . ib.
484. La quantità di calore riflesso perpendicolarmente sulle duo facce di una piastra diatermana è quasi costante ed uguale ad $\frac{1}{12}$ del calore incidente. 96
485. Influenza della doppiezza delle piastre diatermane e composizione dei flussi di calore emanato da diverse sorgenti o da diverse piastre trasmesso. 97
486. Diatermansia o termanismo. 100
487. Rifrazione del calore 103
488. Polarizzazione del calore 104

§. III. *Legge del raffreddamento, quantità di calore emanate e condizioni generiche dell' equilibrio di temperatura.*

489. Legge del raffreddamento nel voto 105
490. Legge del raffreddamento ne' gas 112
491. Equilibrio di un termometro in un circuito tutte le parti del quale non sono alla stessa temperatura 113
492. Espressione della total quantità di calore tramandata dai corpi. ib.
493. Equilibrio di temperatura dei corpi protetti da un inviluppo diatermano 115

§. IV. *Conducibilità de' corpi pel calore.*

494. Distinzione della conducibilità, impenetrabilità, e permeabilità 117
495. Conducibilità de' solidi . . . . . ib.
496. Conducibilità de' fluidi 123

CAPITOLO II.

Calorimetria.

§. I. *Capacità de' corpi pel calore.*

497. Delle quantità di calore e dei mezzi di paragonarle . . . 126
498. Calorimetro di Lavoisier e di Laplace 127
499. Metodo de' miscugli 129
500. Metodo di raffreddamento 131
501. Capacità de' gas pel calore 133
— Corrispondenza delle capacità de' gas a pressione costante ed a volume costante 135
502. Risultamenti delle principali esperienze sulla capacità, ed osservazioni generiche 141

§. II. *Calor latente, calore delle combinazioni e miscugli raffreddanti.*

503. Calorico di fluidità 144
504. Calorico di elasticità 145
505. Calore delle combinazioni e calore animale 147
— Calore delle combinazioni . . . . . ib.
— Calore animale 149
— Della temperatura del corpo umano 150
506. Quantità di calore prodotte da diversi animali 153
— Cagioni principali del calore degli animali 154
507. Miscugli raffreddanti . . . . . ib.

§. III. *Osservazioni generali sopra le sorgenti di caldo e di freddo.*

LIBRO OTTAVO.

METEOROLOGIA.

CAPITOLO I.

Del calore terrestre.

508. Definizioni generali 158
— Temperatura dell'aria nella superficie del suolo . . . 159
— Linee isoterme. 161
— Temperature medie dei giorni, de' mesi e delle stagioni. 163
— Temperature estreme e climi . . . . . ib.
— Temperature a diverse altezze al di sopra del suolo . . . 166
509. Limite delle nevi perpetue 167
510. Dell'esistenza di uno strato invariabile, posto ad una certa profondità di sotto al suolo, ed in cui la temperatura è la stessa da secoli 170
— Del moto del calore al di sopra dello strato invariabile . 172
511. Della temperatura a grande profondità 173
— Termometro a maximum del Sig. Walferdin 174
— Termometro a minimum del Sig. Walferdin 175
— Termometrografo 176
512. Temperatura delle sorgenti 177
513. Della temperatura de' laghi e de' fiumi, e del loro congelamento. 179
514. Della temperatura de' mari e della formazione de' ghiacci polari 185
515. Dell'equilibrio di temperatura della terra 192
— Quantità di calore data dal sole. 195
— Pireliometro diretto . . . . . ib.
— Pireliometro a lente. 196
— Temperatura dello spazio 205
— Actinometro 206

CAPITOLO II.

Dell' aria e dei vapori atmosferici.

516. Osservazioni barometriche 215
— Altezze medie 216
— Variazioni diurne 218
— Tavola delle depressioni del mercurio nel barometro dovute alla sua capillarità 221
517. Dei venti 222
518. Degl' uragani 223
— Direzione degl' uragani 225
519. Delle trombe . . . . . ib.

Igrometria.

520. Costruzione ed uso degl' igrometri 228
— Igrometri di condensamento . . . . . ib.
— Tavola de' pesi del vapore contenuto in un metro cubico d'aria 230
— Igrometro a capsola ed a ghiera 231
— Igrometro di Daniell . . . . . ib.
— Igrometro d'assorbimento di Saussure . . . . . ib.
— Tavola igrometrica 234
— Psicrometro d' Auguste 236
521. Del sereno, della rugiada, della brina, e della gelata . . 237
522. Delle nebbie e delle nubi 240
523. Della pioggia, della neve, del gelicidio, della neve dura, e della grandine 243

CAPITOLO III.

Della luce meteorica.

524. Dei fenomeni luminosi 257
525. Miraggio osservato in Egitto . . . . . ib.
526. Spiegazione del miraggio 259
527. Fenomeni del miraggio osservati in differenti luoghi e in diverse circostanze 261
528. Spiegazione del fenomeno dell' arcobaleno 263
529. Archi secondari e soprannumerari 269
530. Aloni e pareli 270
531. Corone 272
532. Stelle cadenti . . . . . ib.
533. Areoliti 273

CAPITOLO IV.

Elettricismo atmosferico.

534. Prima scoverta sull' elettricismo atmosferico 274
535. Dell' elettricismo durante gli uragani 276

536. Degl' effetti del tuono quando cade sulla terra 281
538. Dell' origine dell' elettricismo atmosferico e della formazione delle nubi tempestose 291
539. Dei parafulmini 294

CAPITOLO V.

Del magnetismo terrestre.

540. Considerazioni generali 300
541. Declinazioni 301
542. Variazioni diurne. 304
543. Inclinazione 307
544. Intensità. 311
545. Discussione di alcune formole 314
546. Aurore boreali. 322

ERRATA.

PAGINE.	VERSI.	ERRORI.	CORREZIONI.
6	19	I cristalli	In cristalli
ib.	40	figura 103	della figura 296
ib.	ib.	carbonazata	carbonata
7	6 e 7	linea aa^1	linea ax
ib.	21	(fig. 103)	(fig. 293 e 296)
ib.	29	ex (fig. 304)	ax (fig. 297)
ib.	35	dcp	acp
20	24	$no = 1,5484$.	$n = 1,5484$
26	5 e 6	doversi studiare	studiarsi
32	19	noi possiamo	non possiamo
38	10	$= t\,(1 - 2 \text{ sen. } a^1)$	$= t\,(1 - 2 \text{ sen.}^2 a^1)$
39	1	tang. a^n = tang. a^{n1}	tang. a^n = tang. a^{n-1}
90	39	2π (cos. ω. . . .	$\frac{e^1}{2\pi}$ (cos. ω . : . .
91	26	subitaneità	subitezza
95	2	*diatermani*	*diatermane*
100	5 e 6	alterazioni	alternazioni
110	7	$v = ma\theta\,(at - 1)$	$v = ma^\theta\,(a^t - 1)$
ib.	14	$v = (m + 2nz)$. log. b	$v = t\,(m + 2nz)$. log. b
111	7	$v = ma\,\theta\,l^1 a.\,t$,	$v = ma^\theta\,l^1 at$,
113	20	$ma^{t+\theta} - m(1-k)a^1 - mka^t$	$ma^{1+\theta} - m(1-k)a^\theta - mka^t$
ib.	23	$a^t = 1 + k\,(a^t - 1)$	$a^t = 1 + k\,(a^{t-\theta} - 1)$
120	10	si spazieggiano	si spaziano
123	35	queste differenze	quelle differenze
129	17	dei puzzetti	de' pozzetti
136	26	$\frac{c}{c}$	$\frac{c}{c^1}$
143	5	tavole V e IV	tavole V e VI
156	8	le pose	i poli
173	6	$ab - x$	ab^{-x}
179	7	meteorologisti	meteorologici
210	33	in alcuni punti	sono in alcuni punti
216	16	a 9 ora	a 9 ore
254	2	sono inammessibili	non sono inammessibili
289	4	ed alle	e dalle
304	7	noti non	noti ;
ib.	14	tremuoti di terra	tremuoti
317	15	terra si fa	terra ; si fa

AVVERTIMENTO

DEL

TRADUTTORE.

Per rendere sempre più pregevole la nostra versione degli *Elementi* di *Fisica* e *Meteorologia* del Sig. Pouillet, non abbiamo trascurato d' inserirvi quanto eravi di più recente. Per questo fra le altre si è riportata la scoperta del *Daguerre* e quella del *Jacobi*, le quali come pertinenti alla fisica applicata, abbiamo stimato posporle in forma di appendice alla fine dell' opera. Inoltre pregato l' illustre Professore Melloni, reduce dal suo viaggio scientifico di Parigi, di alcuni schiarimenti sul calorico raggiante, egli ha superato le nostre speranze. Imperocchè oltre gli schiarimenti ha voluto che questa nostra traduzione fosse arricchita delle sue più recenti scoperte su quel subbietto, che non aveano mai veduto la luce. Per le quali, poichè già trovavasi pubblicato il 4° volume, abbiamo seguito l' esatto ordine delle pagine, in quei siti ove il Melloni ha creduto necessario il dover chiarire od aggiungere: solamente alle segnature dei numeri siamo stati costretti sostituire i versi, sostituzione che non arrecherà confusione alla mente degli studiosi.

NOTE

DEL

TRADUTTORE.

Pag. 79 (1). I fenomeni che si producono da un'azione passaggiera o permanente del calore e del freddo, o da un pronto raffreddamento, dalla dilatazione, dalla compressione, e dall'indurimento danno luogo a fenomeni di doppia rifrazione, e di polarizzazione colorata. Tali azioni possono avere effetto sul vetro, ed in altre sostanze solide; ma queste ultime non riuscirà sempre comprimerle e dilatarle con la stessa facilità, onde si possono riscaldare, e raffreddare: dal che procede che non tutte le sostanze godono la proprietà di acquistare strutture doppie rifrattrici.

Nelle sostanze, le quali possono comprimersi o dilatarsi, la compressione produce strutture opposte alla dilatazione. Di leggieri si prova l'influenza di queste due azioni, prendendo una piastra di vetro, curvandola con le mani, o con l'apparecchio fig. 321, e tenendola sul sostegno *v* (fig. 308), in modo, che uno de'suoi lati più lunghi sia inclinato a 45° rispetto al piano di polarizzazione primitiva, tosto si scorgerà la doppiezza del vetro coperto di frange colorate, composte da un sistema negativo e da un altro positivo separato con linea neutra per mezzo nel senso della lunghezza. Siccome la piastra, curvandosi, diventa convessa da un lato e concava dall'altro, così quelle del lato convesso sono frange negative, e positive quelle del lato concavo. Il numero delle tinte cresce a misura, che più si curva il vetro, e viceversa; e dispariscono affatto restituendosi alla piastra l'antica forma. Le tinte sono quelle della scala del Newton, variando a misura che si discostano dalla linea neutra: il giallo apparisce nella prima compressione, poscia l'arancio ec. sino al verde, ch'è l'ultimo. Con una compressione maggiore appare un giallo di una serie diversa; ma non si oltrepassi certi limiti, perchè si corre rischio di rompere il vetro.

*

Pag. 83 (2). Nelle ricerche fisiche, e segnatamente in quelle del calorico raggiante accade sovente di avere uopo d'istrumenti molto più precisi e sensibili dei migliori termometri semplici, i quali vanno soggetti a qualche incertezza. Quando in fatti si veggono salire di una piccolissima quantità, nasce dubbio se debbesi questo rimovimento attribuire alla cagion calorifica, di cui si sta facendo la prova o puro ad un lievissimo cangiamento di temperatura avvenuto nel mezzo ambiente. Per cansare tal cagione di errore, si può ricorrere a tre altri strumenti, i quali si fondano sul principio dell' ineguale dilatazione dell' aria. E questi sono precisamente i tre nominati dal Sig. Pouillet.

Semplicissima si può rendere la struttura del *termometro ad aria* soffiando una palla di vetro nell' estremità di un tubo partito; si riscaldi da prima il tubo con mano, dopo s' immerga l' estremo aperto del tubo in un bagno di alcool colorito: tolta la mano, l' aria interna si contrae pel pronto raffreddamento, ed una piccola colonna di liquido sale nell' interno del tubo. Stabilito l' equilibrio di temperatura, la bolla introdotta corrisponde ad una certa divisione. Ora è chiaro che al minimo cambiamento di temperatura il volume d' aria interna si dilata o si contrae, o l' indice corrispondentemente sale o scende. Questo termometro non è paragonabile con quello a mercurio per cagion dei vapori dell' alcool, che si possono variabilmente formare nell' interno, e per cagione delle mutabili pressioni dell' aria atmosferica, che indipendentemente dal calorico fanno variare l' indice. In questo caso bisogna aver ricorso al barometro, per correggerne le indicazioni. Per ottenere un termometro di questo genere, che fornisca esatti e comparabili risultamenti, indispensabili sono alcune particolari precauzioni, e l' uso di alcune formole di correzione.

A render sensibile il termometro di Rumford fanno mestieri le seguenti doti: palle grandi, un tubo stretto di diametro, sottile il vetro che s' impiega, indice cortissimo, branca orizzontale assai lunga, e che contenga tutte le gradazioni, senza che l' indice potesse salire in uno dei bracci verticali, e segnatamente sino alla palla; dappoichè se ciò avviene, allora una porzione dell' aria d' una branca passando nella palla dell' altra, l' indice si trova sotto due pressioni diverse, essendone mutati i volumi d' aria, e con ciò l' indicatore non ritornerà a zero stabilito l'e-

quilibrio di temperatura. In questo caso riesce penosissimo accomodarlo.

La lunghezza della branca orizzontale porta il vantaggio di rendere in questo strumento le due palle assai lontane, il che porge maggiore facilità di operare partitamente su ciascuna palla; tanto più se si tengono separate tra loro con un tramezzo di cartone dorato. Quando l'istrumento è ben costrutto sente l'influenza del calorico della mano sino alla distanza di un metro e forse più.

Nel *termometro* di Leslie la colonna liquida monta nelle due branche verticali sino ad una certa altezza, nelle quali le estremità si mantengono allo stesso livello, o secondo altra costruzione con una data differenza, quando l'equilibrio di temperatura si stabilisce. Del pari è necessario, come il precedente strumento, che le due palle non siano tanto strette relativamente al diametro del tubo, affinchè ad ogni minimo segno di calore si possano considerare i volumi di aria delle palle sempre dello stesso volume. Il che non avrebbe luogo, se il liquido salisse di molto in una delle branche, essendone allora le pressioni sensibilmente mutate; e torna meglio partire una sola branca verticale. Corta essendo la branca orizzontale, le palle per conseguenza vicine, indispensabile si rende il tramezzo suddetto.

Sicchè la fisica possiede da qualche tempo due termometri più adatti allo scopo di quello ad aria, i quali possono valutare le picciole differenze di temperatura, sono esenti dalle variazioni dell' ambiente, e rendonsi paragonabili con i termometri a mercurio. Il primo di questi due fu inventato in Francia, e fu detto *termoscopio*, il secondo quasi contemporaneamente o poco prima in Iscozia, e si disse *termometro differenziale*.

Volendo studiar meglio i fenomeni e le leggi del calorico raggiante più dei descritti istrumenti, bisogna far uso del termo-moltiplicatore, specialmente quando trattasi di nuove ricerche. Il quale istrumento oltre di presentare il medesimo vantaggio dei termometri differenziali, cioè l'essere anch' esso esente dalle variazioni di temperatura ambiente, ha di più, che un grado solo del termo-moltiplicatore corrisponde alla millesima parte del termometro ordinario; ma ciò che rende preziosissimo questo istrumento (particolarmente per le successive modificazioni introdotte dal Sig. Melloni) è che la sostanza *termoscopica* è interamente separata dall' indicatore.

Digitized by Google

NOTE

DEL PROFESSORE MELLONI

SUL

CALORICO RAGGIANTE.

(*Ved. Lib. 7. Capo 1. §. 2.*)

Lo scopo che mi propongo nel pubblicare alcune note al capitolo 1. del 7. libro del Pouillet, non è già di sottoporre ad un esame critico questa parte di un lavoro generalmente riconosciuto per uno de' migliori Trattati della Fisica odierna: l'illustre professore della Università di Parigi deve attribuire le mie osservazioni al solo desiderio, proprio di tutti coloro che resero di pubblica ragione alcuni principî nuovi dopo d'averne ben dimostrata a se medesimi la verità, di prevalersi delle circostanze offerte onde porre in campo gli argomenti prediletti o non avvertiti, e di far sì che a forza d'insistenza, vengano tosto o tardi introdotti nell'insegnamento. Alcune volte però le mie parole sono destinate semplicemente a sviluppare il testo, e ad aggiugnervi le conclusioni di quelle sperienze, che per la loro data recente non potevano esser note all'autore quand'egli stava compilando il presente Trattato.

Pag. 97 v. 22. Questa facoltà di trasmettere il calore allo stato raggiante, che apparisce sì manifesta nell'aria atmosferica, è dessa poi realmente propria de' solidi e de' liquidi? Il dubbio non mi pare interamente rimosso dalle sperienze descritte nelle pagine seguenti del testo (N. 483), e credo tanto più necessario di doverlo combattere con saldi argomenti che parecchi Fisici di sommo merito attribuivano ancora, pochi anni sono, i segni termoscopici osservati dietro uno strato solido, non già al passaggio immediato della ra-

diazione calorifica, ma sì bene al calore assorbito dallo strato, e quindi tramandato sul termoscopio. Ecco pertanto i dati d'onde s'arguisce, colla massima evidenza, la permeabilità de' corpi solidi e liquidi pel calorico raggiante.

Sia una lamina verticale di metallo pertugiata nella sua parte centrale. Si ponga ad una certa distanza, e sulla linea orizzontale che passa pel centro del foro, da una parte, la sorgente calorifica, dall'altra, la pila del termo-moltiplicatore. Si turi finalmente l'apertura della lamina metallica con una piastra di salgemma, di cristallo di monte, di vetro, o d'altra sostanza diatermana. In tale disposizione di cose, il galvanometro indicherà una certa impressione calorifica ricevuta dalla pila; ma si tolga quest' ultima dal suo posto, e si porti alquanto lateralmente mantenendola ad una distanza invariabile dal centro del foro, e sempre rivolta verso il corpo diatermano: ogni segno di calore cesserà, e l'indice dello strumento scenderà tosto sullo zero della propria scala. Dunque *l'azione osservata nel primo caso, non deriva dal riscaldamento dello strato diatermano, ma da una specie particolare di calore che lo traversa in una sola direzione, e continua a propagarsi di là parallellamente alla linea retta condotta dal centro della sorgente, al centro del foro.*

Di più questo calore, incapace della propagazione laterale, è anche, in certa qual guisa, indipendente dalla disposizione delle particelle materiali frapposte sul suo proprio cammino. E ciò si prova operando sopra uno strato sufficientemente esteso, le cui porzioni si fanno passare rapidamente contro l'apertura; poichè allora l'indice del galvanometro se ne stà immobile sulla posizione angolare prodotta in virtù della prima azione calorifica. *La quiete o il movimento delle particelle ond'è composto lo strato diatermano, o trascalescente non esercitano dunque nessuna azione sul calorico propagato secondo la sola direzione della sorgente.*

Finalmente il medesimo calore, che passa lo strato da banda a banda, senza essere smosso dall'agitazione delle varie parti materiali, percorre in un attimo qualunque estensione del mezzo diatermano. Per dimostrarlo basta intercettare il raggiamento calorifico, e lasciato scendere a zero l'indice del termo-moltiplicatore, stabilire di bel nuovo la comunicazione

calorifica, e notare con un buon cronometro quanti secondi si esiggono affinchè l' indice giunga, per l' azione dell' efflusso calorifico sulla pila, alla massima sua deviazione. La radiazione può intercettarsi prima, o dopo il suo transito per la materia solida; ora sì nell' uno che nell' altro caso l' indice impiega sempre lo stesso tempo a percorrere l' arco di deviazione; e ciò qualunque siasi la quantità della materia diatermana interposta. Dunque *il nostro calore dotato di una sola propagazione rettilinea, ed irremovibile del suo cammino, traversa ogni strato trascalescente, solido, o liquido, in un istante impercettibile.*

Le tre leggi di cui abbiam dimostrata l' esistenza, sono opposte a quelle che osservansi nella trasmissione ordinaria del calore, e concordano a capello, colle tre proprietà fondamentali manifestate dalle radiazioni calorifiche transitanti per l' aria atmosferica.

Concludiamo che *il calore si propaga entro certi corpi solidi, e liquidi, non solo successivamente, da strato a strato, ma anche immediatamente e sotto forma di raggi che traversano tutta l' estensione del mezzo con una immensa velocità.*

Pag. 100. v. 37. L' eterogeneità degli elementi che compongono una data radiazione calorifica si deduce, non solamente dalle leggi di propagazione entro un dato mezzo trascalescente, ma ben anche, e forse con maggior evidenza, dai fenomeni che presenta la sua trasmissione successiva per le sostanze diatermane di diversa natura.

Si trovano infatti certe lamine di vetro verde, le quali esposte al raggiamento delle fiamme lasciano passare una qualità di calore che viene totalmente assorbita da una piastra limpidissima di allume; comunicando al fascetto incidente una sufficiente energia, mediante uno specchio concavo di metallo o una lente di salgemma, si osserva allora il fenomeno sorprendente di due lamine diafane, che separate, lasciano passare tanto calore da cacciar l' ago termoscopico a 25°, o 30°, e che sovrapposte, intercettano sì fattamente la radiazione calorifica da ricondur l'indice sullo zero preciso della scala. Da questo esperimento si conclude: 1.°, *che i fascetti calorifici trasmessi dalla due lamine sono di costituzioni al tutto diverse:* 2.°, che *facendo passare una radiazione di luce mista al calore per certe coppie di strati eterogenei si può togliere tutto il calore e ritenere*

la sola luce : tali mezzi composti sono dunque atermano-diafani , e i raggi emergenti divengono atti a rischiarare gli oggetti, senza produrre nessun fenomeno di riscaldamento.

Prendendo poi una lamina sottile di vetro nero compiutamente opaco , ed una piastra di salgemma annerita col negrofumo a segno di renderla essa pure del tutto priva di trasparenza ; le due lamine saranno ancora permeabili da una certa quantità di calore raggiante , che può rendersi sensibilissima coi soliti mezzi di concentrazione.

Ottenuta una data deviazione, di 30° per esempio , colla lamina di vetro nero , s' interponga tra di essa e la pila termoscopica un vetro diafano ordinario. L'indice scenderà alla metà circa dell' arco , e vi si fermerà stabilmente. Si riproduca ora la medesima deviazione di 30° a traverso il sale allumicato , e quindi si frapponga di bel nuovo la lamina di vetro trasparente — l' indice termoscopico si recherà tosto sullo zero della scala, d' onde apparisce chiaramente , che il calore tramandato dalla lamina opaca di vetro nero è distintissimo dal calore che trasmette la piastra opaca di salgemma. *La radiazione vibrata da un corpo incandescente contiene dunque diverse specie di raggi calorifici totalmente privi di luce.*

Da tutto ciò risulta che l' eterogeneità dei raggi elementari i quali costituiscono un efflusso calorifico, non è determinata dalla presenza della luce o dalla mancanza di questo agente ; e rimane quindi distrutta l' opinione del Powell, ed altri fisici, che tentarono di spiegare i fenomeni della trasmissione immediata del calorico con due sole qualità di calore , il *lucido e l' oscuro.*

E qui non saranno forse fuor di proposito alcune parole intorno ad un altra ipotesi , ove si supponeva che l'innalzamento di temperatura modificava a poco a poco il calore sviluppato dalla sorgente e ne tramutava finalmente in luce una porzione più o meno notabile. (Vedi Biot. Trattato di fisica t. II. p. 625 e seg.)--Si allegava in pruova il fatto ottenuto dal Delaroche intorno alla trasmissione del vetro, che trovossi crescere con la temperatura del corpo raggiante , d'onde si arguiva che *l' impeto* , o la *forza d' impulso* necessaria alla radiazione per penetrare i mezzi solidi , dipende essenzialmente dal vigore della sorgente. Ma le proprietà termiche scoperte nel salgemma bastano per mostrare l' in-

sussistenza di questa pretesa metamorfosi, poichè il salgemma è sostanza solida, ove gli efflussi calorifici scagliati sotto forma raggiante da qualsiasi sorgente, penetrano sempre colla medesima facilità, e passato il mezzo in un tempo impercettibile, emergono tutti dalla banda opposta ugualmente affievoliti di 0,082 per la riflessione delle due superficie d'entrata e di uscita (§. 484). Anzi il salgemma affumicato, non solo a tale da renderlo opaco, ma anche si leggiermente da lasciargli quasi tutta la propria trasparenza, acquista la facoltà di trasmettere i raggi calorifici in quantità tanto maggiore quanto minore si è la temperatura della sorgente. Ora ammettendo nei mezzi diatermani una resistenza meccanica alla propagazione calorifica, e supponendola vinta più o men facilmente secondo la forza colla quale i raggi sono cacciati dalla sorgente, il salgemma affumicato tenderebbe a dimostrar questa forza più gagliarda nei raggi delle sorgenti a bassa temperatura; e dai fenomeni di trasmissione osservati nel vetro ed altre sostanze se ne deduce precisamente la conseguenza opposta. Dunque la trasmissione più o meno copiosa non dipende dall'impeto dei raggi calorifici, ma sì bene dalla minore o maggiore energia di una *forza intercettante* o *assorbente*, che è nel mezzo diatermano, che varia colla sua natura, ed opera soltanto su tale o tal' altra specie di calore, scegliendo, per così dire, nella radiazione incidente alcuni elementi per assorbirli, e lasciando gli altri transitare liberamente.

Ma per giudicare rettamente un tal fenomeno era d'uopo conoscere la vera indole del calorico raggiante, e a malgrado delle nozioni che possedevano i nostri antecessori sulla varia rifrazione degli elementi calorifici del raggio solare, e su alcuni caratteri distintivi dei raggi di calor terrestre, la costituzione dei diversi efflussi calorifici, e segnatamente l'eterogeneità delle loro parti elementari, non vennero dimostrate che in questi ultimi tempi, mediante i nuovi metodi analitici risultanti dalla trasmissione dei mezzi diatermani, e dalla diffusione prodotta sulla superficie delle sostanze atermane, come si dirà più oltre.

Pag. 102 v. 7. Le denominazioni proposte dal Pouillet sono forse più commode e spedite di quelle che derivano dalla voce diatermansia, ma non vanno perciò esenti da obbiezioni: e di fatto la loro radice greca importa soltanto *caldo*, *calore*, e quindi *termanismo*

termanizzante, *termanizzato* suonano proprio, *riscaldamento*, *riscaldante*, *riscaldato* espressioni scevre di qualunque allusione al principio fondamentale che dovrebbero pur accennare. D'altra parte vedremo, nella nota susseguente, che oltre alle differenze provenienti dall'azione de' mezzi diatermani, vi sono anche non poche disparità tra le forze di riverberazione dei corpi atermani; per cui taluni appariscono neri, e per la luce, e per lo calore; altri, quantunque bianchi, sono colorati, rispetto agli efflussi calorifici; altri operano come sostanze candide per le due specie di radiazioni; altri infine si comportano, relativamente al calore, come se fossero bianchi, e posseggono tuttavia una colorazione spiegata. La scienza abbisogna dunque di una nomenclatura ove si trovino accennate le varie fasi dell'azione, talora elettiva, e talora nò, esercitata dai corpi sopra i diversi elementi che distinguono l'una dall'altra radiazione; e questa moltiplicità di elementi sembrami appunto il fatto ove si devo cercare la base del nuovo linguaggio termologico, poichè una voce radicale indicante eterogeneità basterebbe, se non m'inganno, a distinguere perfettamente il calore di radiazione dal calore ordinario, ed avrebbe inoltre il vantaggio di richiamare incessantemente alla memoria il principio fondamentale introdotto nelle scienze fisiche dalle ultime esperienze intorno alla composizione del calorico raggiante.

Pag. 103 v. 2. A queste nozioni sulla diatermansia o termanismo, esposte con tanta lucidità del nostro autore, gioverà aggiungere altri fatti per cui si verrà sempre più in chiaro che gli efflussi calorifici delle varie sorgenti sono composti di elementi diversi, più o meno facili ad essere assorbiti, non solo nell' interno dei corpi, ma anche dai loro strati superficiali.

Alcune sperienze recenti dimostrano esserci ne' corpi una facoltà, in virtù della quale ogni punto della loro superficie diffonde più o meno, e rimanda per ogni verso, il calore che lo percote allo stato radiante. Questo *poter diffusivo*, totalmente analogo a quell' ottica facoltà per cui i corpi acquistano agli occhi nostri la proprietà di esser bianchi, neri, o colorati, studiato nelle varie sue apparenze, conduce alla conseguenza singolare che la carta, la neve, il carbonato di piombo, ed altre sostanze candidissime, operano sulle radiazioni calorifiche, come fanno le superficie vivamente colorate sulle radiazioni luminose. E di fatto l'espe-

rienza dimostra che alcuni raggi di calore vengono dalla carta fortemente assorbiti, e pochissimo riverberati; che altri, in vece, sono rimandati con forza, e quindi soggetti ad un debole assorbimento. Ora così appunto succederebbe di un panno rosso, verde, o giallo successivamente esposto a luci di diverso colore. E veramente se un osservatore racchinso con alcuni di questi panni entro una stanza buja, vi faccia penetrare la luce, rossa per esempio, mediante un foro turato da una lamina di vetro, il panno rosso gli apparirà vivacissimo, il panno verde, oscuro, e a mala pena visibile: se poi l'osservatore sostituisca un vetro verde al rosso, le apparenze si faran tosto contrarie: il panno rosso sarà indistinto e fosco, il verde, vivido e brillante.

Si trovano però alcune sostanze che assorbiscono, o riverberano sempre con eguale e grande energia qualunque specie di raggiamento calorifico; e queste, quantunque d'ordinario colorate, sono propriamente *le materie nere, e bianche del calore*. Il negrofumo stà nella prima classe; i metalli, non solamente tersi e puliti, ma privi di qualunque lucentezza, fan parte della seconda. Ammessa in questi casi l'eguaglianza di assorbimento, la quale risulta evidentissima dalle misure le più precise, ognun vede che si potranno determinare le vere relazioni di quantità esistenti tra le varie specie di calore. Ma la Fisica manca affatto di strumenti i quali siano insensibili alla *qualità*, e misurino la sola *quantità* di luce o di suono; l'Ottica e l'Acustica sono dunque inferiori, da questo lato, alla scienza delle radiazioni calorifiche.

Ognuno intenderà poi, di leggieri, che le considerazioni risultanti del nuovo poter diffusivo devono modificare molte conseguenze le quali si deducevano dalle antiche sperienze sul calorico raggiante. Eccone alcuni esempî. I corpi assorbiscono una quantità di calore tanto maggiore quanto più grande si è la loro facoltà di tramandarlo. Partendo da cotesto principio si determinavano gli assorbimenti di due date sostanze applicandole sul cubo di Leslie, ed osservando l'effetto prodotto da ciascheduna di esse sull'apparecchio termoscopico. Ora, per mezzo di questa esperienza, si acquista bensì la cognizione delle facoltà relative di emissione e di assorbimento delle due date sostanze pei raggi di un corpo riscaldato alla temperatura dell'acqua bollente, ma non si deve perciò inferirne

che gli assorbimenti si manterranno eguali sotto l'azione delle altre radiazioni calorifiche. E basterà addurre all'uopo il negrofumo e la cerusa, che sono perfettamente eguali per l'emissione e quindi anche per l'assorbimento, trattandosi dei raggi delle sorgenti a 100° di temperatura, o in quel torno; e che diventano poscia talmente distinti sotto l'azione de' raggi tramandati dalle fiamme e dai metalli incandescenti, che la seconda sostanza assorbisce una quantità di calore due o tre volte minore della prima. La ragione è facile ad assegnarsi: infatti sappiamo che il negrofumo si comporta nello stesso modo verso qualunque specie di calore e però si riscalda sempre ugualmente: ma i raggi della incandescenza patiscono una vivissima diffusione sulla cerusa, che disperde pochissimo i raggi delle sorgenti di bassa temperatura; e quindi tale sostanza debolmente riscaldasi nel primo caso, fortemente nel secondo. Per mostrare che la facoltà di riflettere il calorico sta in ragione inversa della facoltà di assorbimento, Leslie usava distendere successivamente le varie sostanze sulla superficie di uno specchio concavo, e deduceva il grado di assorbimento dalla elevazione più o meno grande di temperatura prodotta sul termometro focale mentre lo specchio riceveva l'efflusso calorifico di un tubo pieno d'acqua bollente. Ma questo metodo non vale evidentemente per tutti quei casi, e sono moltissimi, in cui la sostanza addattata allo specchio non è liscia e lucente, poichè allora può darsi che nasca una riverberazione o diffusione vivissima la quale impedirà l'assorbimento senza concentrare perciò i raggi nel fuoco.

I Fisici devono essere ormai ben convinti dell'assoluta necessità di separare tutto che concerne la riflessione, propriamente detta, del calorico, dai fenomeni dovuti al *poter diffusivo* dei corpi. E di vero i raggi calorifici si riflettono come i raggi lucidi; e però in ogni caso particolare, la ripercussione specolare del calorico succede costantemente *colla medesima energia* qualunque siasi la natura del raggio incidente. Nel poter diffusivo vediamo per l'opposto, la massima parte dei corpi riverberare una proporzione di calore *variabile* colla qualità della radiazione proprietà che, per dirlo di passaggio, ci pare del tutto contraria all'ipotesi in cui si crede la diffusione derivata da una riflessione irregolare. Ora per

non confondere queste due azioni sì distinte della materia, ed introdurre nello stesso tempo qualche ordine nello studio del calorico raggiante, si dovrebbe, a parer mio, trattare la riflessione subito dopo le prime nozioni sulla propagazione, e farla poscia seguire dalla rifrazione. Così si avrebbero riunite in una prima sezione le leggi generali degli efflussi calorifici. Nella seconda sezione verrebbero esposte le proprietà della diatermansia, e dei tre poteri, emissivo, assorbente, e diffusivo. Una terza parte tratterebbe della polarizzazione.

Terminerò colla descrizione di alcuni fatti d'onde s'arguisce che l'aumento di emissione e di assorbimento prodotto nei metalli tersi, e levigati quando si rendono le loro superficie più o meno ruvide e prive di lucentezza, non deriva già, come si è creduto sinora da una maggiore facilità offerta al calorico di entrare ed uscire per le scabrosità superficiali; deduzione che, se mal non m'appongo, è pienamente giustificata dai dati seguenti.

Molti corpi forniscono le stesse precise misure di assorbimento o di emissione calorifica qualunque sia l'asprezza o il pulimento delle loro parti esterne: altri presentano il detto caso di una facoltà raggiante o assorbente maggiore per la ruvidezza: alcuni finalmente sono tali che le scabrosità prodotte dall'attrito sulle loro superficie lustre e pulite, in vece di aumentare, *diminuiscono* l'energia con cui il calore viene da essi assorbito o tramandato. Gli artifizî co' quali si ottengono questi svariati effetti consistono ad operare su tali sostanze in cui lo stato superficiale sia, ora uguale, ora più, ed ora meno denso o duro degli strati interni: l'aumento delle due forze, assorbente ed emissiva, succede quando la superficie differisce in più per la durezza o densità: la diminuzione ha luogo per la posizione opposta. Ora è noto che i metalli del commercio conservano una certa rigidezza, tutta superficiale, la quale si toglie via col calore, manifestando per tal guisa lo stato di compressione forzata in cui si trovavano gli ultimi strati del corpo. L'aumento di poter emissivo che sviluppasi nelle piastre metalliche ordinarie quando si rimuove la levigatezza *della loro superficie* non deriva dunque direttamente dalla formazione delle scabrosità, ma dallo scoprimento di alcune parti interne men dense o dure di quelle che costituiscono la crosta formata

sulla piastra dalla percussione del martello, o dalla pressione del laminatojo.

Pag. 103 v. 39. Alcuni fisici osservarono che lo spazio ove trovasi la più alta temperatura nello spettro solare, stà a contatto dell' ultima striscia colorata; altri nel rosso; altri nell' aranciato; altri, in fine, nel centro del giallo: le sperienze più recenti portano invece il massimo calore in una zona oscura totalmente staccata dai colori, di maniera che scorre un intervallo sensibilissimo tra di essa e la parte visibile dello spettro. Tutte queste differenze derivano, come lo accenna benissimo il Pouillet, dalla natura delle sostanze adoperate nella costruzione del prisma. Leggendo infatti le Memorie originali si vede che ognuno dei detti sperimentatori impiegò un prisma di diversa qualità; io feci, primo, l' analisi del calor solare con un prisma di salgemma, sostanza che trasmette tutte le radiazioni calorifiche nella medesima proporzione, e trovai pertanto lo *spettro calorifico normale:* gli altri, ignorando che le materie dei loro prismi, quantunque diafane e limpidissime, erano tuttavia *fortemente colorate* per rispetto al calore, ottennero degli *spettri calorifici* più o meno imperfetti poichè allora le diverse radiazioni di luce e di calore non trovandosi più assorbite nella medesima proporzione, la zona di massima temperatura doveva necessariamente cambiare di posizione a norma della diatermansia propria alla sostanza onde il prisma era composto. Per togliere qualunque dubbio sulla verità di questa spiegazione, feci interporre sul passaggio della radiazione calorifica decomposta dal prisma di salgemma, ora una grossa lamina di vetro ordinario, ora una piastra di flint o di crown glass, ora uno strato d' acqua, d' alcool, ecc: il massimo di temperatura si recò successemente in tutte le posizioni dianzi accennate.

Con principî analoghi si spiegano le soluzioni di continuità recentemente osservate da Herschel nella parte meno rifrangibile dello spettro solare.

Esponendo un foglio di carta tinto da un lato col negrofumo, e bagnato dall' altro coll' acool, alla radiazione solare decomposta col prisma e concentrata da un sistema di lenti, il celebre astronomo inglese vide la porzione del foglio su cui battevano i raggi meno rifrangibili dello spettro prosciugarsi più presto in alcuni punti, e formare tre macchie bèn distinte, divise tra di loro da spazî ancora umidi e nereggianti.

Tali apparenze lo indussero a credere che il raggio solare manca di certi elementi calorifici: ma per render sicura cotesta deduzione era indispensabil cosa concentrare e rifrangere il calore con lenti e prismi di salgemma, ed Herschel sperimentava soltanto sul vetro. Ora il vetro essendo affetto di termanismo, opera sulle radiazioni calorifiche come fanno i mezzi colorati sulle radiazioni luminose; e noi sappiamo che guardando lo spettro solare a traverso uno strato trasparente di materia colorata si vedono tra i colori parecchie striscie scure del tutto analoghe alle citate macchie termografiche. I fenomeni osservati da Herschel offrono dunque una nuova dimostrazione della esistenza della diatermansia nel vetro, ma non conducono a nessuna legittima conseguenza sulla costituzione del calor solare.

Pag. 105 v. 16. Queste troppo brevi parole del Pouillet esiggono alcune dichiarazioni. Il professore Forbes deduceva la sua proposizione da due argomenti: 1° la polarizzazione variabile da esso lui ottenuta colle pile di mica: 2° le variazioni di polarizzazione manifestate dalle turmaline.

Esponendo a varie sorgenti di calore una coppia di pilo micacee costantemente inclinate del medesimo angolo, e voltando i loro piani di rifrazione, talora paralleli e talora perpendicolari, egli vide sparire, nel caso della perpendicolarità, una proporzione di calore, la quale cresceva colla temperatura della sorgente. Ora è da sapersi che il dotto fisico di Edimburgo forma le sue pile di mica gittando ne' carboni incandescenti una lamina di questa sostanza, la quale presa dal calor repentino, si suddivide di per sè stessa in una serie di esilissime faldicine più o meno larghe, e più o meno staccate tra di loro. Questo metodo di divisione spontanea fa sì che le facce non son tutte liscie e specolari; per cui le porzioni appannate devono necessariamente produrre sugli efflussi calorifici il fenomeno della diffusione. E di fatto studiando questo fenomeno nelle sostanze diatermane le cui superficie si sono rese diffusive coll'attrito dello smeriglio, apparisce chiaramente; 1° che i raggi delle sorgenti a temperatura elevata vi patiscono, come ne' corpi candidi, una diffusione molto più energica dei raggi provenienti da basse temperature: 2° che la porzione di calore delle sorgenti inferiori la quale non ha subita la diffusione, penetra la superficie smerigliata, e si

propaga di là conservando prossimamente la direzione iniziale.

Quindi, nel caso delle pile del Forbes sottoposte ai raggi delle sorgenti di alta temperatura, la porzione di calore trasmessa dai punti appannati soffrirà la diffusione, si dileguerà ad una piccola distanza, ed il termoscopio, destinato ad esplorare la quantità di calor trasmesso, ricevendo que' soli raggi polarizzati che han traversate le parti lucide, fornirà, per quella data inclinazione, il vero *indice di polarizzazione* dovuto al numero di lamine ond' è composto il sistema micaceo. Nel caso poi delle sorgenti a temperatura poco elevata, la porzione di calore proveniente dai punti appannati non si diffonderà, nè verrà polarizzata, ma traverserà il sistema in egual quantità, qualunque siasi la posizione delle lamine intorno all' asse di rotazione, arriverà sul termoscopio, ed aggiugnendo *un' azione costante* all' azione variabile de' raggi provenienti dalle porzioni pulite, diminuirà la differenza tra le duo quantità di calore dovute alla disposizione parallela, ed alla disposizione normale dei piani di rifrazione delle duo pile, e darà un indice di polarizzazione inferiore a quello che risulterebbe da una egual serie di lamine terse e lucide in ogni punto della loro estensione.

Tutto ció è pienamente confermato dall' esperienza, poichè lo pile formate di lamine sfregiate a bella posta, e quindi diffusive in alcuni punti, polarizzano esattamente colla medesima forza delle pile lustre e polite dappertutto, i raggi scagliati dai corpi incandescenti, e fanno sparire coll' incrociamento dei piani di rifrazione una quantità di calore tanto minore, quant' è più bassa la temperatura della sorgente calorifica. Dunque le differenze di polarizzazione notate dal Forbes sulle sue pile micacee non sono reali, ma semplicemente *apparenti*. E di fatto operando con lamine ben terse e lucide in tutta la loro estensione si trova che la medesima coppia di pile polarizza sempre la stessa proporzione della radiazione incidente, qualunque sia la sorgente di calore o la natura dei mezzi traversati dai raggi prima di giungere sull' apparecchio polarizzante. Passiamo al secondo argomento.

Tutti conoscono oramai la curiosissima esperienza di polarizzazione offerta dalle due piastre di turmalina, le quali sovrapposte lascian libera la visione o l in-

tercettano compiutamente, secondo che si dispongono gli assi ottici paralleli o perpendicolari tra di loro. Un effetto analogo osservasi anche relativamente al calore. I due fenomeni offrono però le differenze seguenti: 1°, quelle medesime turmaline, che incrociate arrestan tutta la luce trasmessa nel caso del parallelismo degli assi, spengono una debole proporzione della trasmissione calorifica: 2° l'azione polarizzante, che nel caso ottico è costante ed uguale per qualunque luce colorata, diventa sì variabile rispetto al calore, che, nel medesimo sistema di turmaline, alcune radiazioni danno uno o due soli centesimi di calore intercettato, ed altre novantasei. Questi fenomeni sono mere risultanze della forza assorbente, e riescono facili a spiegarsi, qualora si voglia por mente al modo con cui la polarizzazione si rende sensibile nella lamine di turmalina.

Un raggio di luce, che penetra perpendicolarmente la sostanza di queste lamine, si partisce in due fascetti polarizzati tra di loro ad angolo retto, e sovrapposti come succede nel caso della piastre di spato islandico, o di qualunque altro mezzo in cui ha luogo il fenomeno della doppia rifrazione. La luce emergente dalla lamina non offrirebbe nessun segno apparente di polarità, se i due raggi elementari che la compongono fossero dotati della medesima energia, perchè tali raggi, quantunque compiutamente polarizzati, essendo sovrapposti, offrirebbero, per la perpendicolarità dei loro piani di polarizzazione, le medesime proprietà in qualunque punto della sezione.

Ma dalle precise sperienze del Biot risulta che il raggio ordinario vien tutto assorbito nell' interno della turmalina; il raggio straordinario rimane dunque isolato all' emergenza, ed offre spiegata la sua propria polarizzazione. Ora, per la luce, l' azione differenziale della turmalina è indipendente dalla qualità del raggio incidente. Per lo calore le cose camminano altrimenti, poichè la turmalina assorbisce più o meno l' uno dei due raggi risultanti dalla doppia rifrazione, secondo che il calor incidente deriva da tale, o tal altra origine; la radiazione emergente offre pertanto, più o meno scoperta, la polarizzazione del raggio, il quale ha patito un grado minore di assorbimento.

Concludiamo che le differenze di polarità calorifica osservate nelle turmaline si spiegano benissimo col-

l' assorbimento più o meno energico di una porzione del calor trasmesso ; e rimane quindi distrutta , anche in questo caso , l'ipotesi di una varia attitudine dei raggi calorifici alla polarizzazione, ipotesi che era d' altronde ben poco probabile perchè contraria al complesso dei fatti, offerti dallo studio delle forze polarizzanti che si sviluppano nei fenomeni di riflessione e di rifrazione dei raggi lucidi.

SEGUONO LE NOTE DEL TRADUTTORE.

Pag. 218. (4) Non occorre sviluppare le formole proposte dall' Autore, giacchè ognuno si ricorderà averci proposto di non oltrepassare l' Algebra dei finiti. Intanto volendo gli studiosi estendere un poco più sperimentalmente le loro conoscenze, potranno riscontrare le opere de' *Sigg. Despretz pag. 171, e Biot. trat. particolare t. 2, pag. 650.*

Pag. 117. (5) Si perviene alle tre ultime formole date dal Sig. Pouillet nel modo seguente.

Dalle due equazioni

$$e = e'' + (1 - b')\, e' \quad (1)$$
$$e' = e'' + (1 - b)\, e \quad (2)$$

si ricavano i valori di $\frac{e}{e'}$, $\frac{e}{e''}$, $\frac{e'}{e''}$.

Pel 1.° valore sviluppando queste equazioni, ed aggiungendo e' alla prima, ed alla seconda e si otterrà

$$e + e' = e'' + 2\, e' - e'\, b' \quad (a)$$
$$e + e' = e'' + 2\, e - be. \quad (b)$$

Sottraendo la seconda dalla prima ed ordinando si avrà $e'\,(2 - b') = e\,(2 - b)$: dal che $e : e' :: 2 - b' : 2 - b$, ed $\frac{e}{e'} = \frac{2 - b'}{2 - b}$ (c).

Pel 2.° valore se le due equazioni (a) (b) si sommino e si riducano si avrà

$2\, e'' = e'b' + eb$: sostituendo in questa per e' il suo valore $\frac{e\,(2 - b)}{2 - b'}$ tratto dall'equazione (c); sarà

$2\, e'' = \frac{e\, b'\,(2 - b)}{2 - b'} + eb$: eseguendo le moltipliche e sgombrando dal fratto avremo

$4\, e'' - 2\, b'e'' = 2\, eb' - 2ebb' + 2\, eb.$

Dividendo ciascun termine per 2, ed ordinando avrassi

$e''\,(2 - b') = e\,(b + b' - bb')$; e quindi

$e : e'' :: 2 - b' : b + b' - bb'$ ossia

$\frac{e}{e''} = \frac{2 - b'}{b + b' - bb'}$.

Pel 3.° valore osserviamo, che nell' equazione $2\, e'' = e'b' + eb$ avuta qui sopra, se si sostituisca per e il suo valore $\frac{e'\,(2 - b')}{2 - b}$, che si ottiene dall'equazione $\frac{e}{e'} = \frac{2 - b'}{2 - b}$: avremo $2\, e'' = e'b' + \frac{e'b\,(2 - b')}{2 - b}$.

Sviluppando come la precedente si otterrà
$e'' (2-b) = e' (b + b' - bb')$, ossia
$e' : e'' :: 2-b : b + b' - bb'$; e con ciò

$$\frac{e'}{e''} = \frac{2-b}{b+b'-bb'}.$$

Or dinotando l'Autore con t, t'' t' le temperature del globo, dell'inviluppo e del circuito, e il potere emissivo dell'inviluppo supponendosi uguale ad f'', e gli altri due uguali all'unità, si avranno in virtù del principio precedentemente stabilito le altre tre equazioni

$e = g.\ a^t$; $e' = g.\ a^{t'}$; $e'' = g.\ f''\ a^{t''}$, le quali ci danno

$$\frac{e}{e'} = a^{t-t'};\ \frac{e}{e''} = \frac{a^{t-t''}}{f''};\ \frac{e'}{e''} = \frac{a^{t'-t''}}{f''}.$$

Paragonando questi valori con gli altri trovati di sopra otterremo

$$a^{t-t'} = \frac{2-b'}{2-b};\ \frac{a^{t-t''}}{f''} = \frac{2-b'}{b+b'-bb'}$$

$\frac{a^{t'-t''}}{f''} = \frac{2-b}{b+b'-bb'}$, e sgombrando da fratti le due ultime equazioni avrassi finalmente

$$a^{t-t'} = \frac{2-b'}{2-b}$$

$$a^{t-t''} = f''.\ \frac{2-b'}{b+b'-bb'}$$

$$a^{t'-t''} = f''.\ \frac{2-b}{b+b'-bb'}.$$

Pag. 155. (6) Molte erronee spiegazioni si son date della sorgente del calore animale sino al tempo dei lavori di Lavoisier. L'esperienze di questo illustre chimico, e quelle di molti altri osservatori dopo di lui son tali, che se le opinioni loro non son vere del tutto, lo sono in parte almeno. Da queste risulterebbe che lo sviluppamento del calorico animale dipendesse dalla chimica combinazione dell'ossigeno dell'aria coll'idrogeno e col carbonio della macchina animale, che accade per la respirazione. Dall'esperienze di Dulong specialmente si avrebbe che gli 8 o i 9 decimi del calorico si debbono alla respirazione. Ma si è in queste tenuto conto di tutte le perdite ed in particolar maniera di quelle che si debbono alla esalazione dell'acqua e dell'acido carbonico per la via dei pulmoni, che secondo Legallois basterebbero a congelarli se sole esistessero? Non lo sappiamo, an-

zi pare che dal silenzio degli autori dovessimo esser indotti a conchiudere il contrario. E se le azioni chimiche, che nell' atto della respirazione si dispiegano, la fan considerare sorgente di calorico, azioni chimiche similmente dispiegandosi nella digestione, nella nutrizione, nelle secrezioni, con ugual diritto sorgenti di calorico son da considerarsi queste funzioni.

Altra sorgente di calorico si tiene la circolazione, ed in generale ogni moto vitale, perchè, se è certo che le azioni meccaniche sviluppano calorico, non ci ha ragione per credere che lo strofinio ed i movimenti delle parti di cui gli animali sono formati non debbano similmente farlo sviluppare.

Da quanto precede è chiaro, che fra le cagioni capaci di produrre il calorico animale si sono annoverate le chimiche e le meccaniche; le chimiche nella respirazione, nella digestione, nelle secrezioni e nella nutrizione, le meccaniche nella circolazione e nei movimenti vitali in generale. Ma se in tutti i fenomeni che negli animali succedono principal parte prende l'innervazione, quella forza cioè che dai nervi sviluppandosi attiva l' organismo, e senza della quale nessuno dei fenomeni organici potrebbe aver luogo; come poi il calore soltanto, che pei suoi fenomeni si vede negli animali avere un' origine tutta diversa che ne' corpi inorganici, non dipenderà dalla forza propria dell'organismo cioè dall'innervazione? Fatti positivi vengono in sostegno di questa supposizione. Si sa come nelle paralisi ed in molte malattie nervose si ha freddo ed in altre malattie diverse del sistema nervoso si ha caldo. Brodie inoltre ha osservato che molti animali decapitati si raffreddavano ancorchè artifizialmente si fosse mantenuta la respirazione ed i polsi si fossero sostenuti, e Chossat che la compressione del cervello, il taglio dei suoi spedunoli, della midolla spinale specialmente nella sua porzione cervicale, la sottrazione del ganglio semilunare hanno ugualmente prodotto freddo, ma non perfetto; o che spontaneamente o che artifizialmente si fosse mantenuta la respirazione.

Portando tutta la possibile attenzione su questi fatti e ragionamenti, e su tutti gli altri che gli autori in gran copia han raccolto, si vede bene ch' essi non spiegano chiaramente e del tutto la sorgente del calore animale: quindi bene si potrà esso considerare con Brachet e Fouilhoux come una condizione della vita, e con ciò come dipendente da quella stessa ignota cagione che tutt' i fenomeni vitali produce.

Pag. 174 (7) Quanto sia filosofica l' osservazione che non solo qui, ma anche altrove espone il Sig. Pouillet sul metodo da seguirsi nel ritrovamento delle verità sperimentali, abbastanza può attingersi da ciò che noi ci sforzammo di dimostrare nella prefazione. D' altronde la natura stessa di tali conoscenze dichiara che, non potendosi fra i loro termini altro ravvisare che un legame; perciò all' investigazion del vero non solo esatta ed estesa collezion di fatti si richiede, ma un' analisi stretta di essi.

Pag. 174. (8) Pozzo *artesiano*, da altri detto *modenesio*, giacchè non si sa con precisione se siano stati costrutti i primi nella provincia d' Artois, ovvero nel modenese: certo si è che pozzi di tal sorta da lunghissimo tempo esistono in questo ducato.

Questa sorta di pozzi si fa, praticando alcuni fori nel suolo a diverse profondità, mercè una trivella la quale si profonda, finchè s' imbatta in uno strato d' acqua soggetto a tale pressione da spingerla sino ad una certa elevazione in un tubo artifiziale, od anche sino alla superficie del suolo e più.

La *trivella* è una specie di strumento formato da varie spranghe di ferro, le quali si adattano le une in sulle altre capo con capo: all' estremità inferiore vi si dispongono varî utensili secondo la natura del terreno che si vuole forare.

Il *tubo artifiziale* è formato da varî tubi di metallo o di legno uniti tra loro di una certa maniera gli uni sugli altri, atti a sostenere la terra all' intorno: chè non potrebbesi troppo profondare il foro, se con ciò non s' impedisse che la terra si smovesse d' intorno.

La cagion vera che fa risalire le acque al livello del suolo è l' effetto della loro filtrazione, giacchè continuamente condensandosi alla superficie del globo formano numerose correnti, la teorica delle quali è intimamente ligata alle leggi della gravità e dell' equilibrio de' fluidi. Difatti è conosciuto che, la superficie terrestre presentando ovunque disuguaglianze, le acque piovane che scendono sulla superficie parte sono trasportate al mare, parte si raccolgono a piè de' monti, il che dà poi nascimento ai laghi; e parte finalmente s' infiltrano ad una certa profondità e corrono sotterra a traverso degli strati interni; i quali, come varî per origine, e natura, e modo di soprapposizione, secondo queste diverse circostanze

dan luogo alla riunione delle acque in vene, rigagnoli e ruscelli più o meno regolari. Se i terreni sono attraversati da molte fenditure ne nasce la prima specie di correnti interne; ma quando il suolo è composto di uno strato di sabbia di ciottoli, o di altre materie sciolte racchiuso tra due strati d' argilla di marna compatta o d' altra sostanza impermeabile, l'acqua allacciata come fra due pareti forma degli strati più o meno inclinati all' orizzonte. Nel quale caso, se avviene che lo strato impermeabile superiore presenti qualche apertura la qual comunichi colla superficie terrestre, l' acqua s' innalza e schizza più o meno rapidamente, finchè sia giunta ad un livello proporzionato a quello d' onde deriva. In que' siti poi, dove tali fori non si ritrovano, bisogna assolutamente ricorrere a mezzi artifiziali; cioè formar fori colla trivella la quale, come si è detto innanzi, è di necessità che scenda fino al livello delle acque sotterranee.

Pag. 177. (9) La prima idea del *termometrografo* si deve a Six, posteriormente il Sig. Bellani vi ha introdotto diversi perfezionamenti: da tre branche l' ha ridotto a due ingrandendo il recipiente *r* (*fig. 372*); ha chiuso i due indici di ferro in tubi di vetro, ed il capello da dritto ch' era intorno al tubo l' ha disposto in giro quasi a forma di *buccolo*. La descrizione che ne dà il Pouillet è precisamente con le rettifiche del Sig. Bellani.

Non ha guari il Sig. Bunten al capello ha sostituito una molle di vetro tirata come filo dal tubo, che involge il cilindretto di ferro, nell' atto che si suggella alla lucerna ad alcool.

Oltre i termometri a *maxima* ed a *minima* dei Sigg. Walferdin e Bellani descriviamo brevemente due altri inservienti allo stesso genere di ricerche.

Termometro a maxima ed a minima di Rutherford. — Questo termometro è più commodo di tutti gli altri inventati finora, particolarmente per le sicure indicazioni che dà quello a *minima*: ha pure il vantaggio di non esser di tanto difficile costruzione. Si compone di due termometri ordinarî fissati su di uno stesso quadro con branche orizzontali ricurve vicino i bulbi, disposti in verso contrario, e l'uno al di sopra dell' altro: il termometro superiore è ad alcool colorato contenento nel suo interno un cilindretto di smalto, sostanza che l' alcool bagna; l' inferiore è a mercurio, con cilindretto di ferro o d' acciaio, metallo che il mercurio non attacca. Amendue quest' indici sono

di minor diametro dei tubi che li circondano. L'indice di smalto rimane costantemente immerso nell' alcool che seco lo strascina verso il bulbo quando la temperatura si abbassa; e quando poi si eleva, il liquido dilatandosi lo abbandona; e precisamente in quel punto in cui la temperatura più bassa l' aveva condotto.

Per lo contrario l' indice di ferro è tutto esterno e poggia con un estremo sulla colonna mercuriale, la quale spinge il cilindretto all' aumentar di temperatura, e lo abbandona poi ritirandosi nella positura di massima escursione. Si potrà ognuno persuadere della cagione che fa muovere i due indici, riflettendo nel primo caso ad una certa forza capillare esercitata dalla superficie dell' alcool per essere concava, la quale tiene depressa la parte interna ed impedisce l' uscita del cilindretto di smalto: in quanto all' indice di ferro è una pura azione meccanica che lo spinge.

L' istrumento si deve tenere in posizione perfettamente orizzontale, perchè dia sicure indicazioni: e per nuovi risultamenti bisogna disporre l'apparecchio verticalmente, dare qualche leggiera scossa, finchè l' indice di smalto rimanga con un estremo a livello della superficie dell' alcool, e quello di ferro vada a poggiar sul mercurio.

Termometro a maxima ed a minima del Sig. Gay-Lussac. — Consiste quest' istrumento in un pallone di vetro ripieno di acqua o di alcool, terminato in un estremo a tubo di stretto diametro con apertura capillare in cima: inoltre un cilindro di maggior diametro circonda il tubo al quale è saldato con mastice. Questo cilindro contiene mercurio sino ad una certa altezza al di sopra del foro capillare. Formato così l' istrumento, se si espone ad una temperatura più bassa, il liquido si contrae e si forma nell' interno del pallone un voto; la pressione esterna intanto spinge il mercurio a penetrarvi pel forellino, ed infatti una porzione del mercurio proporzionale all' abbassamento di temperatura v'entra senza poterne più uscire. Quando tutto l'effetto è prodotto, si capovolga l' istrumento, si riscaldi il pallone, e con molta precauzione si versi il mercurio in un tubo graduato a quest' uso, del quale a ciascuna divisione corrisponde un volume uguale a quello del mercurio versato nel pallone per un grado centigrado. Ma prima d' ogni altra cosa bisogna che si determini con pre-

cedenti esperienze quanto mercurio entra nel pallone corrispondente ad un grado del termometro centigrado; e tenendo ragione della temperatura iniziale, si potrà rinvenire il *minimum* di temperatura al quale l'istrumento è stato messo in osservazione.

Se poi la temperatura si eleva, una porzione del liquido dilatandosi esce pel forellino e guadagna il livello superiore del mercurio; allora si riconduce l'apparecchio alla primitiva temperatura, e dal mercurio che penetra nel pallone durante questo raffreddamento si giudica del grado di calore al quale esso ha dovuto esser condotto.

Da quanto si è detto su questo istrumento si desume che il quantitativo di mercurio, che penetra nel pallone, è un *indicatore* che dà sempre la misura delle variazioni tanto al di sotto, che al di sopra della primitiva temperatura.

Pag. 177. (10). Lavoravasi da circa otto anni per la formazione di questo pozzo artesiano nella beccheria di Grenelle e dubitavasi della riuscita: non ha guari il fatto ha dimostrato il contrario, dappoichè scaturirono nei primi giorni nientemeno che 4 milioni di litri di acqua in 24 ore, quantunque una massa di sabbia ricovrisse sul bel principio l'imboccatura di questo pozzo. L'acqua giusta l'analisi del Sig. Pelouze è più pura di quella della Senna. Pel nostro proposito giova far rilevare che l'altezza indicata dall'Autore non è più di 420^{m}, ma bensì di circa 548^{m}.

La temperatura dell'acqua è circa 28° gradi centigradi (*Rendi Conti dell' Accad. delle Scienze — 1. Marzo 1841*).

Pag. 223. (11) All'effetto del pronto addensamento dei vapori nel seno dell'atmosfera, aggiuntavi l'ineguale distribuzione del calore, non che altri fenomeni, come gli elettrici, le piogge abbondanti, varie detonazioni atmosferiche, formazione di gragnuola o altri fenomeni simili si hanno tante cagioni, che pur contribuiscono a fare che i movimenti dell'aria acquistino maggior violenza. L'atmosfera dunque incessantemente agitata in un'infinità di direzioni, e con velocità variabilissime insieme con queste ed altre cagioni, genera venti, i quali soffiano in diversi lati senza aver riguardo nè ad epoca nè a durata determinata. Che perciò a tai venti si dà il nome di *accidentali od irregolari*.

Accade benanche che parecchi di questi venti soffiano nello stesso tempo a diverse altezze; del che pos-

siamo renderci certi risguardando le nubi, le quali nei tempi anche poco agitati ogni sorta di svariate direzioni si veggon seguire.

Vi sono alcuni altri venti detti *generali* o *alisei*, che spirano fra' due tropici in una direzione costante, de' quali si può dar facilmente ragione, se si porta attenzione ad un ordinario fenomeno.

In una stanza dove rattrovasi un cammino da fumo, acceso il fuoco, l'aria soprastante si riscalda; renduta più leggiera, una porzione guadagna il condotto della ciminiera, mentre un'altra porzione monta verso il soffitto e cerca di uscire dalla stanza. Intanto l'aria esterna, più fredda dell'interna arriva dalle altre aperture per rimpiazzare il voto dell'aria calda, di modo che ne risultano contemporaneamente due contrarie correnti, l'una inferiore, l'altra superiore: la prima che si dirige dalle finestre o dalla porta verso il cammino, la seconda che si allontana da questo. In fatti due candele l'una situata nel basso l'altra nell'alto della stanza ci fan vedere che la fiamma s'inclina dietro l'indicate due direzioni.

Ciò posto quella parte di superficie terrestre compresa fra' due tropici essendo più direttamente esposta ai raggi solari si riscalda più del rimanente. Dal che segue che quella parte dell'atmosfera, che corrispoude a questa zona debbe essere dilatata e, renduta specificamente più leggiera, debbesi elevare; e l'aria circostante più fredda, più densa o più pesante debbe rimpiazzarla. Quest'aria rarefatta debbe scorrere da due lati verso i poli, mentre che un'aria fresca, che affluisce al disotto degli stessi poli verso l'equatore, viene a rimpiazzarla. Si comprende esser questa la cagione, che produce in ciascuno dei due emisferi due correnti una superiore, che va dall'equatore ai poli, l'altra inferiore che va dai poli all'equatore. Quest'ultimo effetto modificato dal moto diurno del globo genera l'aliseo o vento generale di est. Infatti tutta l'atmosfera partecipando del movimento di rotazione della terra dall'ovest all'est; e da un'altra parte essendo la velocità per ciascun punto della superficie proporzionale alla distanza di questo punto dall'asse di rotazione, ne risulta che le molecole aeree di ciascuna zona hanno una velocità di rotazione, ch'è tanto più piccola, quanto più la zona è vicina ai poli. Le molecole della corrente inferiore avanzandosi verso l'equatore hanno una velocità minore di quella del punto

corrispondente preso sulla superficie della terra. E per conseguenza uno spettatore situato su questo punto percuoterà l'aria nuovamente arrivata con l'eccesso della propria velocità; e siccome questo spettatore si crede immobile, crederà ricevere l'impressione di un vento di est. Il contrario succede in quanto alla corrente superiore la quale dovrà produrvi l'effetto di un vento di ovest reale, mentre il vento inferiore è una pura apparenza.

Altri venti vi sono, a' quali si dà il nome di venti *periodici*, o *monsoni* i quali soffiano in una certa direzione durante alcuni mesi, e son seguiti da venti contrarî; di modo che avendo l'esperienza mostrato che in ogni anno vi tornano verso lo stesso tempo; i naviganti ne profittano per le loro escursioni.

Pag. 252 (12) Il Sig. Bellani non contentandosi della spiegazione di Volta, il quale fa dipendere la formazione della grandine dalla evaporazione di una nube prodotta dai raggi solari, ha invece con molta accuratezza cercato di spiegarla per mezzo dell'elettricità. Egli dice che questa investendo una nube, ossia una massa vaporosa, la farà aumentare di volume, e crescendo questa di volume deve come ogni altra massa gassosa per forza raffreddarsi: i vapori raffreddandosi si congelano, ed avendo, congelati, una temperatura bassissima fanno similmente congelare i vapori o la pioggia già formata di cui vengono a contatto.

Così si formano secondo il Sig. Bellani le grandini ed in questo modo s'ingrossano. *Mem. del Bellani estratta dai fascicoli* 1° e 11° del t. 2.° *degli opuscoli matematici e fisici — Milano.*

Pag. 256 (13). Il Sig. Sementini ha potuto rendersi certo che tai cangiamenti della polvere son dovuti ai diversi gradi di ossidazione del ferro.

Sembra che il Sig. Sementini non abbia cercato la magnesia ed il nickel.

Per le diverse cadute di polveri, sostanze molli, secche, o umide si può riscontrare la compiuta tavola formata dal *Chladni. Almanacco dell' Ufficio delle Longitudini per l' anno 1826.*

Pag. 213 (14). Sono state ben molte le osservazioni fatte da non pochi osservatori in differenti tempi sul fenomeno della *Fata Morgana*. Esso quantunque proteiforme non ebbe però spiegazione più plausibile di quella che diè Monge del miraggio osservato nelle pia-

nure del basso Egitto. Fra coloro che testimoni oculari vollero scriver cosa intorno alla Fata Morgana si distinse il Rev. P. Minasi che in un'opera stampata in Roma a tre specie la ridusse. La prima fu da lui detta morgana marina, morgana marina aerea la seconda, morgana fregiata d'iride l'ultima. Anche il Sig. Forte Uffiziale del Genio di residenza da molti anni in Reggio di Calabria (secondo le notizie somministrateci dietro inchiesta) ci dice in due diverse circostanze aver egli goduto per due volte di sì piacevole spettacolo. E perchè la spiegazione ch'egli dà del fatto dai principî di Monge non si allontana, così ci piace dei suoi ragionamenti riferire la sola conclusione. « Porto perciò, così egli, ferma opinione consistere la causa della Fata Morgana di Reggio nella refrazione apportata nei raggi partenti dagli oggetti della contrapposta Sicilia, e nella riflessione di essi negli estremi strati del mezzo intercetto tra Messina, e Reggio, mezzo composto di strati variamente densi per la evaporazione delle acque dello stretto ».

Pag. 272. (15). Le *corone* sono cerchi concentrici non solamente al sole, ma alla luna benanche, ed ordinariamente esse sono al numero di 3 a 4. Corone chiamansi ancora quei piccioli aloni che i surriferiti astri formano su leggiere nubi spugnose ne'tempi sereni. Credo che sia stato Joung il primo, che avesse riconosciuto con vetri colorati, che i diametri delle corone s'incrociano secondo i numeri 1, 2, 3 ecc.; e questa legge fu di poi verificata dai Sigg. Delezene e Babinet.

Pag. 273 (16). Gli *areoliti* o *meteoroliti* son tutti composti dai medesimi principî chimici, quasi nell'istessa proporzione, che secondo l'analisi dei Sigg. Howard, Klaproth, Vauquelin, Stromeyer, Laugier risulterebbe circa 50 di selce, 5, 5 manganese, 4, 5 zolfo; 2, 5 di nickel metallico; 1, 5 di manganese ossidato; 1, 5 di cromo, e delle tracce di cobalto, e di ferro 25 quasi intieramente ossidato. Il loro peso specifico è circa 3, 6.

Dai frammenti di areoliti rinvenuti sulla superficie terrestre si è potuto discernere, che contengono il ferro nello stato metallico; nel mentre che degli areoliti esaminati dopo la loro caduta tengono il ferro nello stato di ossido: la qual differenza procede facilmente dalla differenza delle masse. È da supporre che questo metallo siasi bruciato nell'attraversare l'atmosfera, ma che la combustione non ha potuto essere compiuta se non quando i frammenti oltrepassavano un certo limite.

Sembra che i *bolidi* abbiano la medesima origine delle stelle cadenti e de' meteoroliti: giacchè le osservazioni fatte sulle altezze delle prime e loro velocità si accordano con quelle fatte sui bolidi.

Qual' è l'origine degli areoliti? È ancora un mistero. Varî sono stati i sistemi esposti da grandi filosofi su tale subbietto. Potranno i curiosi rinvenirli in diversi trattati di fisica, gli antichi principalmente, oppure nel *Manuale delle lezioni di Astr. del Sig. Arago* compilato da diversi cultori. *Pag. 109 e seg.*

Ultimamente il Sig. Capocci ha proposto sullo stesso argomento una sua opinione (*V. Rendi conti dell' Acc. delle Scie.* agosto 1840).

Riscontrisi *il catalogo cronologico del Sig. Chladni* sulla caduta degli areoliti in siti diversi cominciando dall'anno 1800, senza darsi briga delle incerte osservazioni fatte in tempi anteriori.

Pag. 299 (17). Una delle notizie scientifiche che altamente onora il Sig. Arago è quella delle utili conoscenze dateci sul fulmine. Alla cui lettura esortiamo caldamente tutti, e specialmente coloro che debbono costruire dei parafulmini, come gli architetti di mare e di terra. *Almanacco dell' Uffizio delle longitudini per l' anno 1838.*

Pag. 304 (18). Da noi è stata di già notata questa osservazione nella pag. 318 tom. 2, ove per errore fu stampato, nelle prime copie, *diminuzione*, invece di *declinazione*. Per maggior dettaglio. *V. An. Civ. fas. XLV. mag. e giug. 1840.*

Fine delle note dell' ultimo volume.

SBN
608553
Biblioteca Nazionale V. E. III. NAPOLI

L' oppendice indicato nell' avvertimento potrà ligarsi o pur nò all' opera ; giacchè gli si è dato un ordinamento indipendente dalla traduzione.

	50		40		30		20		10		0	
0	71 5	69 7	67 0	64 5	62 0	51 0	46 5	41 8	39 3	35 0	29 7	80
5	68 5	65 0	60 0	55 0	51 5	49 0	45 5	42 0	37 0	35 0	29 0	
8	63 8	61 2	57 0	52 5	47 6	45 0	41 7	37 8	33 8	30 3	26 8	70
2	53 7	51 7	48 9	46 8	44 6	41 5	38 7	35 5	32 4	28 0	24 8	
3	45 0	44 0	42 6	42 8	40 0	39 0	36 3	32 5	30 2	28 0	24 3	60
5	36 8	38 3	36 5	35 8	35 7	33 8	31 9	30 5	28 8	27 2	25 8	
5	29 2	29 5	31 3	30 8	30 1	30 0	28 1	27 8	25 6	24 4	23 3	50
7	23 5	24 3	23 5	23 9	25 4	25 0	25 5	24 5	24 8	23 3	21 8	
3	19 0	19 5	19 8	21 5	22 2	22 8	24 0	24 0	23 9	21 5	20 6	40
8	14 2	15 2	17 3	17 7	19 2	22 2	22 8	22 5	21 8	20 8	19 0	
9	7 9	12 7	14 6	16 0	18 3	19 5	21 8	22 3	20 5	20 0	19 1	30
7	5 8	8 3	10 2	12 8	16 5	18 4	20 0	20 6	21 0	19 9	19 7	
5	1 7	4 7	6 7	10 8	14 6	17 3	19 0	19 6	19 8	19 8	19 3	20
7	0 7	3 4	5 4	9 7	13 7	16 5	18 2	19 4	19 5	19 5	19 0	
5	0–5	1 7	4 8	8 5	11 6	15 0	16 8	18 0	18 8	19 3	19 3	10
5	0–5	1 6	4 5	7 9	11 5	14 3	16 3	17 5	18 5	19 1	19 6	
0	3–1	0 3	3 9	7 0	10 7	13 1	15 8	17 3	18 8	19 0	19 3	0
7	3–1	0–1	3 1	6 7	10 3	12 6	15 2	1 68	18 5	18 9	19 0	
7	3–3	0–1	3 3	5 1	8 5	11 0	13 8	15 8	17 3	18 5	19 5	10
7	4–0	1–2	1 9	4 8	7 4	9 7	12 3	14 4	16 3	18 0	19 3	
9	4–5	2–6	0–3	2 8	5 3	8 1	10 6	13 1	15 2	17 2	18 8	20
3	5–2	3–3	1–0	2 2	5 0	7 6	9 8	12 2	14 2	16 5	18 6	
1	7–2	4–8	1–9	0 4	3 4	6 7	8 5	11 0	13 3	16 3	19 2	30
7	8–7	6–3	3–8	0–8	2 1	4 9	7 6	12 5	12 1	15 0	18 0	
3	10–6	8–0	5–0	2–0	0 8	3 8	6 3	9 0	11 8	14 2	17 0	40
0	11–7	9–3	7–2	3–8	1–2	1 6	4 8	8 0	11 0	13 0	16 7	
7	13–7	11–8	9–7	6–8	3–8	0–4	2 7	6 0	9 3	12 5	15 3	50
5	15–3	14–0	11–0	8–2	5–2	2–3	0 5	4 3	8 0	11 8	14 7	
3	18–1	17–0	12–2	9–0	5–3	2–0	1 3	4 6	8 0	11 3	15 3	60
1	21–0	17–2	14–3	11–3	8–1	4–8	1–3	2 4	6 0	9 8	13 3	
7	19–7	17–3	14–1	12–1	8–8	5–8	2–8	1 0	5 3	9 3	12 7	70
5	18–5	16–3	14–5	12–3	10–3	7–5	4–0	0–0	3 3	7 0	11 0	
	50		40		30		20		10		0	

eclinazioni *orientali*, da un *tratto*.

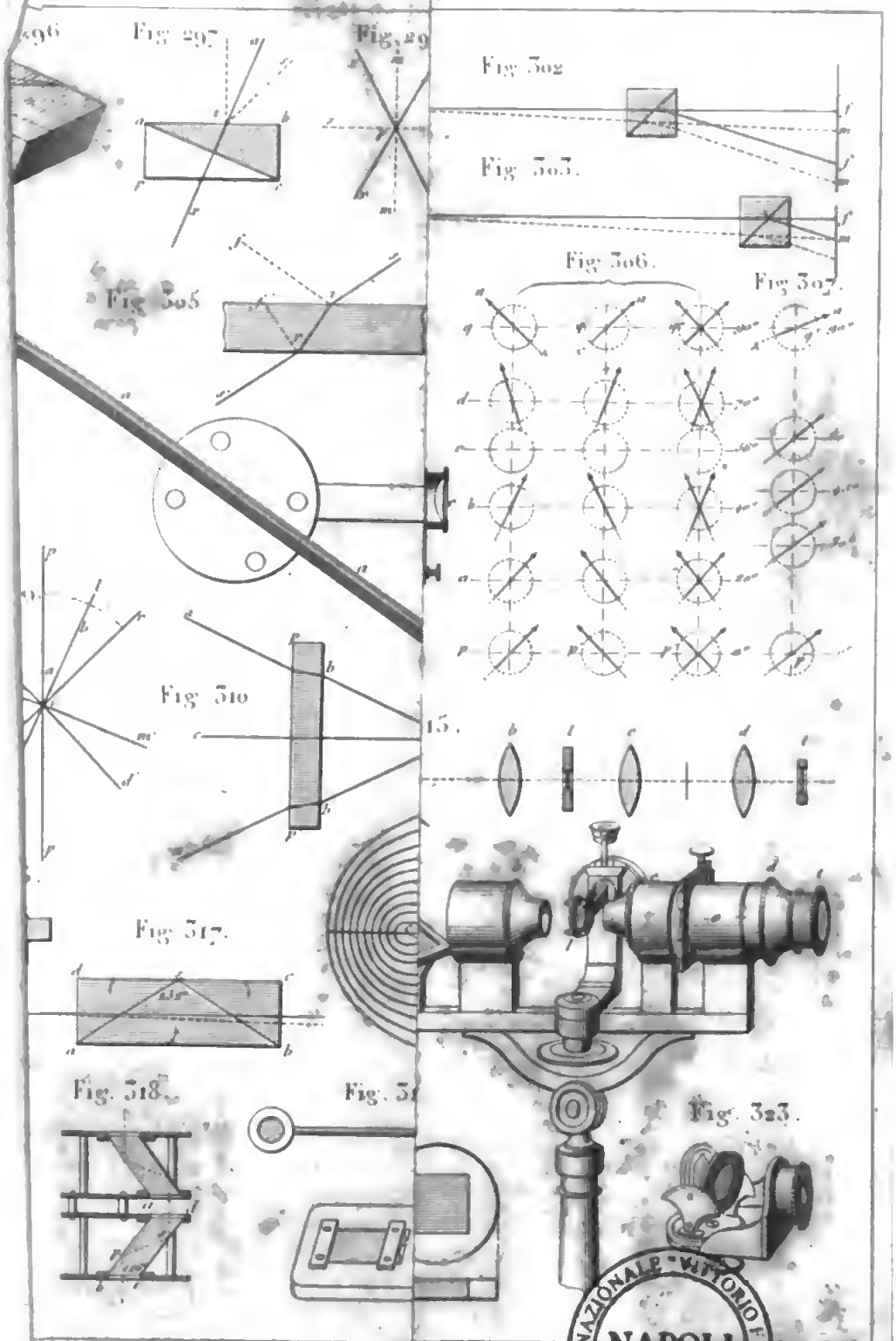
BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III - NAPOLI

SIG. DUPERREY.

120		130		140		150		160		170		180	
15–8	18–0	20–3	23–0	25–5	27–7	31–0	33–5	37–0	38–0	40–5	42–7	47–0	80
3–3	5–0	8–5	11–0	13–5	16–0	18–0	19–8	21–8	24–0	28–5	29–5	30–8	
7 4	8 1	3 0	1 0	1–3	3–8	9–3	11–8	15–4	17–0	19–5	21–3	23–4	70
2 2	3 0	3 5	2 3	1 2	0–2	3–4	6–1	9–3	12–7	15–3	17–8	20–9	
3 0	3 0	3 3	2 3	1 8	0–3	1–9	4–3	7–4	9–8	12–3	15–2	23–3	60
2 8	2 6	2 2	0 8	0–1	1–6	3–3	5–0	7–3	9–8	12–1	15–3	17–4	
2 5	1 7	0 8	0 0	0–5	1–8	3–5	5–3	7–3	9–7	12–2	13–9	16–1	50
0 5	0 0	0–5	1–2	1–5	3–0	4–8	6–7	8–4	10–0	11–3	12–4	14–3	
0–6	0–8	1–2	1–9	2–6	3–5	5–1	6–6	8–2	9–8	11–3	12–5	14–3	40
0–6	0–9	1–2	2–0	2–7	3–7	5–3	6–8	8–5	10–1	11–7	12–8	13–2	
1–7	1–0	1–6	2–4	3–3	4–5	5–5	6–8	8–2	9–8	10–7	11–5	12–5	30
1–7	1–0	1–6	2–5	3–3	4–6	5–8	7–0	8–4	10–0	10–8	11–7	12–3	
1–7	1–8	1–8	2–7	3–4	4–5	5–7	7–1	8–3	9–8	11–0	12–0	12–5	20
1–7	1–8	1–9	2–8	3–5	4–6	5–[illegible]	7–3	8–5	10–0	11–2	11–8	11–7	
0–3	0–8	1–5	2–2	3–0	4–4	5–3	7–2	9–2	9–8	10–1	10–5	11–1	10
0–3	0–8	1–5	2–3	3–1	4–5	5–5	7–5	9–5	9–9	10–2	10–5	10–2	
0–2	1–1	1–5	2–3	3–2	4–0	4–7	6–4	8–4	8–5	8–6	9–8	10–2	00
0–3	1–1	1–5	2–3	3–4	4–0	5–0	6–6	8–4	8–6	9–7	9–9	10–3	
0–3	1–0	2–0	7–0	4–3	5–3	6–1	7–3	8–6	9–5	10–3	10–7	10–4	10
0 3	1–0	2–0	3–1	4–4	5–5	6–7	7–4	8–8	9–7	10–3	10–8	11–1	
1 0	0 3	0–8	2–8	4–9	6–8	8–2	9–1	9–7	10–2	10–0	9–5	9–8	20
1 3	0 3	0–8	2–8	5–1	7–0	8–3	9–2	9–8	10–3	9–9	9–4	9–9	
2 2	1 4	0 3	2–5	4–7	7–2	9–0	11–1	11–1	11–8	10–8	10–5	11–5	30
3 2	1 8	0 8	2–5	5–2	7–2	9–7	11–8	13–0	13–5	12–8	12–5	12–2	
5 1	2 2	0–3	2–5	5–0	7–3	10–6	12–8	13–4	13–7	13–5	13–2	13–3	40
6 6	3 3	0 3	2–4	5–4	8–0	11–0	12–8	14–0	14–2	14–5	14–8	15–0	
8 2	4 7	0 8	1–7	5–3	9–3	14–0	15–1	16–5	16–7	15–2	15–8	15–8	50
12 3	7 8	2 0	1–2	5–2	10–5	14–7	17–0	17–8	18–3	18–1	17–8	17–2	
17 0	11 2	4 5	1–3	5–8	12–0	16–5	18–5	19–5	19–5	20–5	19–2	19–3	60
22 8	15 0	6 5	1–3	8–8	16–3	21–1	23–1	24–6	28–2	28–2	26–8	26–5	
32 0	24 3	12 5	0–8	14–5	23–7	31–7	35–3	37–0	39–0	39–0	39–5	38–8	70
66 5	61 0	46 0	Polo	46–0	56–0	67–0	66–5	65–0	62–0	61–0	57–0	58–0	
120		130		140		150		160		170		180	

per le declinazioni *orientali*, da un *tratto*.

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III - NAPOLI



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Fig. 326.

329

Fig 330.

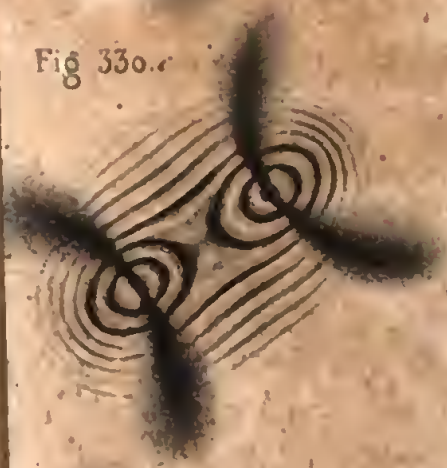


Fig 332

335.

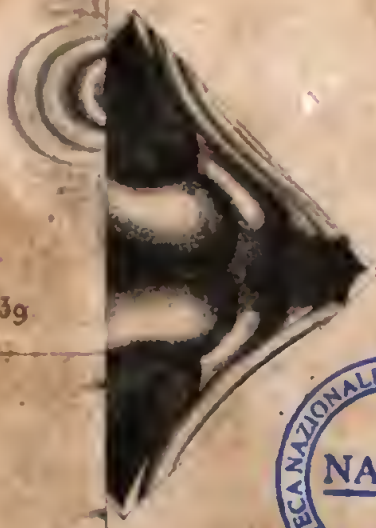
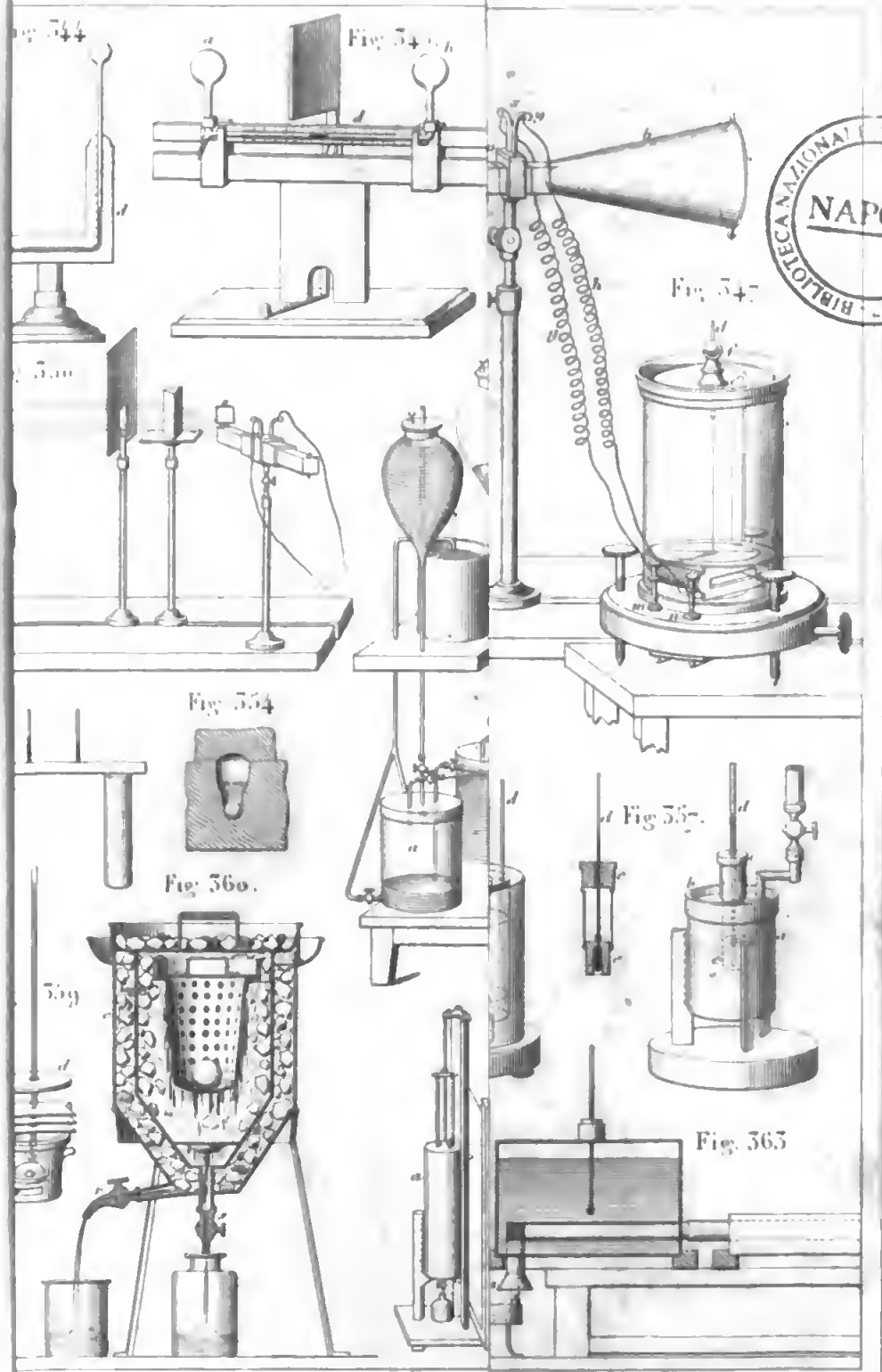


Fig 339

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

L. Rousseau aîné. Lith. Engelmann.

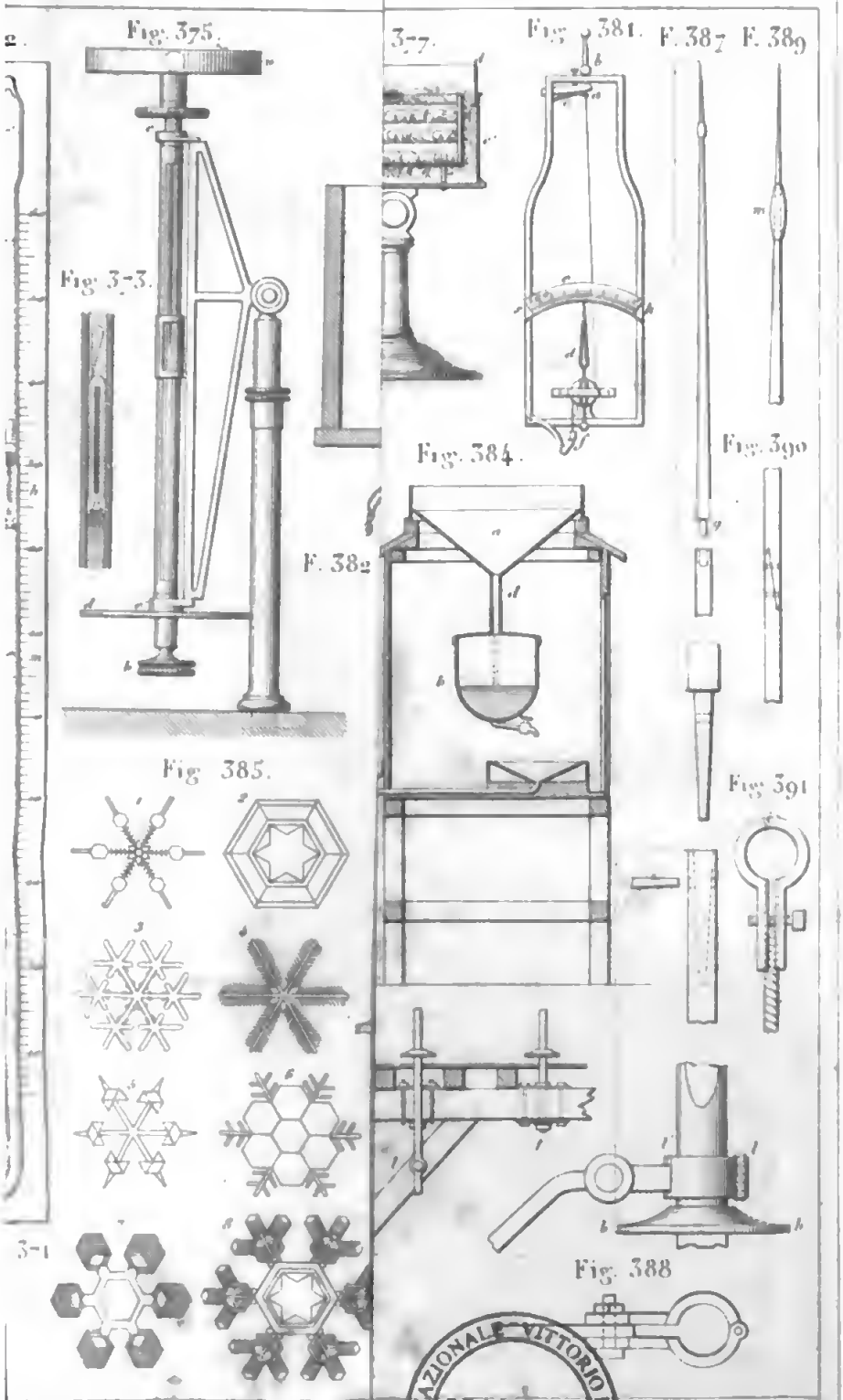


BIBLIOTECA NAZIONALE VITT. EM. III
NAPOLI

F. Le Blanc Sc.

Digitized by Google

Digitized by Google



BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

Fig. 402

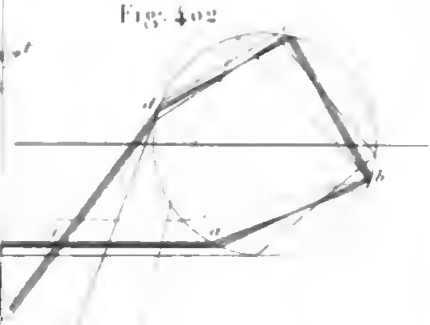


Fig. 398

Fig. 404

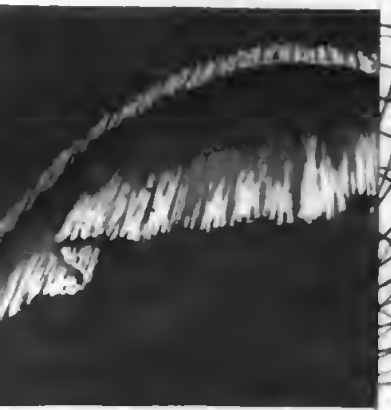


Fig. 403

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

P. Le Blanc sc.

Digitized by Google